

e. aisberg

abc de radio și televiziune.

*radioul și televiziunea?
...nimic mai simplu!*

editura tehnică

SERIA DE ÎNȚIERE

DONALD CUTLER :

ÎNȚIERE ÎN PROGRAMAREA CALCULATOARELOR

Traducere din lb. engleză

JOHN S. MURPHY

**ÎNȚIEREA ÎN PROGRAMAREA CALCULATOARELOR
NUMERICE**

Traducere din lb. engleză — S.U.A.

T. D. TRUITT, A. E. ROGERS

ÎNȚIERE ÎN CALCULATOARE ANALOGICE

Traducere din lb. engleză — S.U.A.

R. R. HAROLD, H. C. HILL, A. V. NICHOLS

ÎNȚIERE ÎN PRELUCRAREA DATELOR

Traducere din lb. engleză — S.U.A.

J. SHUBIN

ÎNȚIERE ÎN CONDUCEREA ÎNTREPRINDERILOR

Traducere din lb. engleză — S.U.A.

E. VASILIU

ÎNȚIERE ÎN DISPOZITIVELE SEMICONDUCTOARE

D. STANOMIR

ÎNȚIERE ÎN ELECTROACUSTICĂ

W. TRUSZ

ABC-UL REPARĂRII RADIORECEPTOARELOR

Traducere din lb. polonă

A. POPA

ABC DE PROTECȚIA MUNCII

MARGARETA DRĂGHICI

ÎNȚIERE ÎN COBOL

STELIAN NICULESCU

ÎNȚIERE ÎN FORTRAN

P. CONSTANTINESCU, N. ZAHARIA

**ÎNȚIERE ÎN ORGANIZAREA ȘI PROIECTAREA SISTE-
MELOR DE CONDUCERE CU MIJLOACE DE AUTOMA-
TIZARE**

**DUMITRESCU I., PESCARU V., BILCIU C., SATRAN T.,
NICA A**

ÎNȚIERE ÎN TELEPRELUCRAREA DATELOR

I. CRETU

ÎNȚIERE ÎN ESTETICA PRODUSELOR

HONEYWELL BULL, I.D. WARNIER și B.M. FLANAGAN
INSTRUIRE ÎN PROGRAMARE

Traducere în limba franceză

E. Aisberg

ABC

de radio și televiziune

Radioul și televiziunea?

...Nimic mai simplu!

Traducere din limba franceză,
după ediția din 1972

EDITURA TEHNICĂ
București 1974



Prefață

În 1926, am intitulat prima mea carte „Am înțeles telegrafia fără fir“. Lucrarea a fost tradusă în 22 de limbi, edițiile fiind numeroase. Ea a servit multor oameni din diverse țări ale lumii să-și însușească noțiunile fundamentale ale radioelectricității. Ca urmare, unii dintre ei au devenit specialiști eminenți, cărorora le datorăm progresele practice și teoretice ce s-au realizat în acest domeniu.

În momentul apariției acestei prime lucrări, receptoarele de radio erau echipate cu „lămpi“ triode (termenul de „tuburi“ nu era încă utilizat) cu încălzire directă, astfel încât alimentarea lor cu tensiune se făcea cu ajutorul bateriilor. Începând cu 1930, odată cu realizarea tuburilor cu încălzire indirectă, s-a putut trece la conectarea aparatelor la rețeaua electrică, fapt ce a modificat substanțial concepția receptoarelor. Astfel, am putut redacta o nouă carte al cărui titlu era „Radioul?... Nimic mai simplu“ *

Prima lucrare era concepută sub forma a 16 convorbiri, în cursul cărora inginerul Radiol explica bazele radioului nepotului său Curiosus. În a doua lucrare, Curiosus explica la rândul său lui Ignotus această tehnică.

Au urmat alte lucrări compuse tot din dialoguri între acești doi tineri, dintre care putem cita: „Televiziunea?... Nimic mai simplu!“ **, „Tranzistorul?... Ceva foarte simplu!“ etc.

Între timp electronica progresează foarte repede. Tehnologia sa se schimbă din ce în ce mai mult, iar aplicațiile sale cuprind domenii din cele mai diverse, în toate ramurile științei, industriei și altor activități.

Expunerea într-o singură lucrare a tuturor aspectelor acestei tehnici și a aplicațiilor sale ar fi o sarcină mult prea complexă și, cred, puțin apreciată de cititori. De fapt, utilă pentru aceștia ar fi prezentarea unor noțiuni asupra acestui vast ansamblu care se numește electronică și posibilitatea de acces în diversele sale domenii.

*) Ediție română — Editura tehnică, 1959.

**) Ediție română — Editura tehnică, 1959.

În acest scop, am expus mai întâi bazele electricității, fapt ce permite, celor care nu au studiat fizica, înțelegerea lucrării.

Se trec apoi în revistă tehnicile de emisie și de recepție în radiodifuziune, cu aparataj echipat cu tuburi sau semiconductoare. După asimilarea acestora, cititorul va putea înțelege ușor principiile televiziunii monocrome și a celei în culori.

Se explică transmiterea în spațiu a sunetelor și imaginilor, se examinează tehnica acestor transmisii în timp sau, cu alte cuvinte, înregistrarea și reproducerea semnalelor sonore sau vizuale.

Pentru a evita monotonia, am alternat conversațiile dintre Curiosus și Ignotus cu expunerile profesorului Radiol. În plus, m-am gândit că, pentru o parcurgere interesantă și o asimilare mai ușoară, sînt utile desenele umoristice marginale.

Este foarte importantă înțelegerea aprofundată a tuturor noțiunilor expuse într-un capitol, înainte de abordarea unui alt capitol. Deasemenea, ar fi utilă recitirea unui capitol pentru a-l înțelege mai bine.

Vă doresc dragii mei cititori să pătrundeți cît mai ușor în minunatul domeniu al electronicii pe care, prin contribuția voastră, să-l faceți să progreseze. Mult noroc!

E. AISBERG

Cele 20 convorbiri dintre IGNOTUS și CURIOSUS,
fiecare urmate de expunerile profesorului RADIOL

Convorbirea 1	TELEGRAFIA FĂRĂ FIR — RADIO —	13
ELECTRONICA		
Cucerirea universului. — Universalitatea electronicii. — Nașterea telegrafiei fără fir. — Epoca radioului. — Dezvoltarea electronicii.		
Expunere	STRUCTURA MATERIEI	20
Dimensiunile moleculelor. — Microcosmosul și macrocosmosul. — Repartiția electronilor. — Foarte mult vid. — Sfârșitul neutralității. — Tendințe de valență. — Conductoare, izolatoare și semiconductoare.		
Convorbirea a 2-a	ELECTRONII SE PLIMBĂ	29
Spre infinitul mare și spre infinitul mic. — Drumul electronilor. — Surse de tensiune. — Convenția și adevărul. — Omul Ignotus formulează legea lui Ohm. — Rezistență și rezistivitate.		
Expunere	CIRCUITELE DE CURENT CONTINUU	35
Multiplii și submultiplii. — Extinderea legii lui Ohm. — Puterea electrică. — Căderea de tensiune.		
Convorbirea a 3-a	ELECTROMAGNETISM	39
Atracție și respingere. — Plimbare pe cîmpuri. — Solenoid. Electromagnet. — Obținerea curentului electric. — Curent alternativ sau curent continuu. — Dinam transformat în motor.		
Expunere	INDUCȚIE, INDUCTANȚĂ SAU REACTANȚĂ INDUCTIVĂ	46
Deductii asupra inductanței. — Raportul de transformare. — Acțiune asupra sa însăși. — Din ce se compune un galvanometru. Aparat de măsură.		

[Convorbirea a 4-a]	CAPACITATE ȘI REACTANȚĂ	53
CAPACITIVĂ		
Sarcina unui conductor. — Nașterea unui condensator. — Încărcare și descărcare. — Valoarea capacității. — Condensatoare fixe, ajustabile și variabile. — Trecerea curentului alternativ. — Reactanța unui condensator.		
Expunere	CONECTAREA COMPONENTELOR	63
Coexistența celor trei : R, L și C. — Conectare în serie. — Conectare în paralel. — Conexiuni complexe. — Fenomenul de rezonanță.		
[Convorbirea a 5-a]	CIRCUITUL OSCILANT. UNDE	73
ELECTROMAGNETICE		
Încărcări și descărcări. — Întreținerea oscilațiilor. — Unde radioelectrice. — Gama de unde. — Recepționarea undelor. — Acord și selectivitate.		
Expunere	EMITĂTOARELE ȘI RECEPTOARELE DE RADIO-DIFUZIUNE	83
Undele sonore. — Diverse microfoane. — Schemă generală a lanțului de emisie. — Căști și difuzoare.		
[Convorbirea a 6-a]	DE LA CADRU LA DIODĂ	92
Cadrele colectoare de unde. — Radiogoniometrie. — Antene cu miez feromagnetic. — Emisia electronică. — Redresarea și detecția curentului.		
Expunere	DE LA DIODĂ LA TRIODĂ	102
Temperatura și vidul. — Viteza, intensitatea și saturația curentului. — Detecția dublă. — Acțiunea grilei. — Factorul de amplificare și panta. — Curbele caracteristice ale triodel. Rezistența internă. — Relațiile ce leagă cei trei parametri ai triodel. — Utilizarea triodeli în amplificarea de înaltă frecvență. — Polarizarea prin cădere de tensiune pe o rezistență. — Legătura sau cuplajul între etajele de amplificare.		
[Convorbirea a 7-a]	AMPLIFICAREA ÎN AUDIOFRECVENȚĂ	115
Cum se realizează simultan amplificarea și detecția. — Cuplaj prin rezistență — capacitate. Schema în contratimp. Tubul defazor. — Montajul catodină.		

CUPRINS

<i>Expunere</i> REACȚIE, EMISIE ȘI TUBURILE CU MAI MULT DE TREI ELECTROZI	124
---	-----

Detectie + amplificare. — Avantajele reacției. — Oscila-
toarele. — Fenomenul de interferență. — Modulația și emi-
sia. — Dezavantajele reacției. — Tetroda. — Emisia secun-
dară. — Pentoda. — Tuburi multiple. — Heptoda. —
Octoda.

[Convorbirea a 8-a] SUPERHETERODINA	135
--	-----

Inconveniente amplificării înaltei frecvențe. — Principiul
superheterodinei. — Schimbarea de frecvență. — De la bi-
grilă la octodă. — Reglaj unic.

<i>Expunere</i> SISTEME DE ALIMENTARE	142
---	-----

Caracteristicile rețelei. — Curentul de alimentare. — Cum
se obțin tensiunile anodice și de filament. Filtrarea înaltei
tensiuni. — Condensatoarele electrolitice. — Redresoarele
solide.

[Convorbirea a 9-a] FEDING ȘI ANTIFEDING	150
---	-----

Propagarea undelor. În jurul pământului și în cosmos. —
Principiul antifedingului. — Tensiunea de reglaj antife-
ding. Antifeding întârziat.

<i>Expunere</i> SEMICONDUCTOARE	159
---	-----

Avantajele semiconductoarelor. — Conductoare, izolatoare și
semiconductoare. — Conductibilitatea intrinsecă. — Foto-
electricitatea. — Semiconductoare pozitive. — Joncțiunea
n-p. Tensiunea electrică a polarităților opuse. — Aplicarea
unor tensiuni corespunzătoare. — Dioda semiconductoare.

[Convorbirea a 10-a] TRANZISTORUL	169
--	-----

Imobilitatea atomilor. — Joncțiune + joncțiune = tranzis-
tor. — Tranzistorul pnp. — Tranzistorul npn. — Analogia
tranzistor — triodă. — Simboluri pentru reprezentarea tran-
zistorului. — Etajul amplificator. — Rezistențele de intrare
și ieșire.

<i>Expunere</i> TEHNOLOGIA TRANZISTOARELOR	180
--	-----

Purificarea materialelor semiconductoare. — Încălzirea de
înaltă frecvență. — Modul de obținere a unui monocristal. —
Aliere sau fuziune. — Difuzia și electroliza. — Tranzistorul
de înaltă frecvență pune probleme. — Soluția problemei. —
Tranzistoare mesa. — Depunere epitaxială. — Realizarea
planarului. — Utilizarea peliculei fotosensibile.

[Convorbirea a 11-a] TRANZISTOARE CU EFECT DE CÎMP 191

Efectul de gîtuire. — Înrudirea cu trioda. — Rezistența de intrare infinită. — Panta tranzistorului. — Polarizarea grilei. — Radioreceptor cu tranzistoare.

Expunere CELE TREI MONTAJE FUNDAMENTALE ALE TRANZISTORULUI 199

Schemele fundamentale ale triodei. — Montajul cu emitor comun. — Montajul cu bază comună. — Montajul colector comun.

[Convorbirea a 12-a] LEGĂTURA INTRARE-IEȘIRE, REACȚIA 204

Analogii și diferențe. — Concordanța între sursa de polarizare și utilizarea circuitului. — Mijlocul ideal pentru adaptarea ieșirii la intrare. — Reacția contra căldurii. — Reacția negativă luptă împotriva distorsiunilor. — Montaje de reacție negativă.

Expunere CIRCUITE DE CUPLAJ 214

Transformatoare de înaltă frecvență și transformatoare de frecvență intermediară. — Cuplaj prin rezistență și capacitate. — Cuplaj direct. — Montaj în contratimp cu tranzistoare. — Cu sau fără defazare. — Cuplajul mixt.

[Convorbirea a 13-a] SUPERHETERODINA CU TRANZISTOARE. 222

Acțiunea reacției. — Regulator de feding. — Dioda ce realizează o amortizare variabilă. — Recepționarea mai multor game de unde. — Receptoare de buzunar.

Expunere CABLAJELE IMPRIMATE ȘI CIRCUITELE INTEGRATE 229

Apariția cablajelor imprimate. — Modul de fabricare. — Tehnica fotografierii în serviciul electronicii. — Circuitele integrate. — Realizarea componentelor pasive. — Fabricarea M.S.I. și L.S.I. — Motivele pentru care se realizează miniaturizarea.

[Convorbirea a 14-a] MODULAȚIA DE FRECVENȚĂ 235

Cite emițătoare pot funcționa în fiecare bandă de frecvență. — Lățimea benzilor laterale în modulația de frecvență. — Raze de acțiune a undelor metrice. — Principiul și avantajele modulației de frecvență. — Cum se obține modulația de frecvență?

CUPRINS

Expunere RECEPTIA SEMNALELOR MODULATE IN FRECVENȚĂ	243
--	-----

Amplificarea frecvenței intermediare. — Amplificarea I. F. și schimbarea de frecvență. — Demodularea, — Demodularea cu discriminator. — Detectorul de raport.

[Convorbirea a 15-a]

ANALIZA IMAGINILOR IN TELEVIZIUNE	249
-----------------------------------	-----

Cinema = transmiterea imaginilor în timp. — Transmiterea secvențială în televiziune. — Nu există un standard internațional. — Banda frecvențelor video. — Emisiunile de televiziune. — Linii întreșute. — Principiile fundamentale ale televiziunii.

Expunere TUBUL CATODIC	256
----------------------------------	-----

Tunul electronic. — Metodele de focalizare. — Deflexia electrostatică. — Fluorescența ecranului. — Deflexia electromagnetică. — Întoarcerea fasciculului. — Există pericolul implozie? — Ecranul plat al viitorului.

[Convorbirea a 16-a] BAZE DE TIMP.	266
--	-----

Deflexia și dinții de fierăstrău. — Schema fundamentală. Curbe exponențiale. — Acțiunea semnalului de sincronizare. — Ionizarea în tiratron. — Binefacerile saturației. — Bază de timp cu generator autoblocat. — Generatorul autoblocat cu tranzistor.

Expunere TUBURI ANALIZOARE	276
--------------------------------------	-----

Ce calități trebuie să aibă tubul analizor? — Fotoemisia și fotoconductibilitatea. — Iconoscopul, strămoșul tuburilor analizoare. — Supericonoscopul. — Superorticonul. — Multiplicatorul de electroni. — Vidiconul și plumbiconul.

[Convorbirea a 17-a] EMITĂTOARE ȘI RECEPTOARE DE TELEVIZIUNE	285
--	-----

Amplitudinea semnalului video. — Forma semnalului de sincronizare. — Unde modulate cu imagine și sunet. — Lanțul de emisie la televiziune. — Structura receptoarelor de televiziune.

[Convorbirea a 18-a] FIZICA ȘI FIZIOLOGIA CULORII . . .	293
---	-----

Spectrul luminos. — Fiziologia vederii. — Perceperea culorilor. — Transmiterea culorilor în televiziune.

<i>Expunere</i> PRINCIPIILE EMISIEI PROGRAMELOR DE TELEVI- ZIUNE ÎN CULORI	301
---	-----

Luminanța = suma crominanțelor. — Semnalele ce se trans-
mit în televiziunea în culori. — Camera de televiziune în
culori. — Transmiterea celor trei semnale. — N.T.S.C.,
SECAM, PAL.

<u>Convorbirea a 19-a</u> RECEPTOARELE DE TELEVIZIUNE ÎN CULORI	308
--	-----

Televizorul în culori conceput de Ignotus. — Tubul tricrom
cu mască perforată. — Înaltă precizie. — Cinescopul cu grilă
de postfocalizare. — Imagini în alb-negru pe un cinescop
pentru recepție în culori. — NTCS și PAL. — Principiul
sistemului SECAM.

<i>Expunere</i> ÎNREGISTRAREA ȘI REDAREA SUNETULUI ȘI IMA- GINII	316
---	-----

Trei tipuri de transformări. — Strămoșii aparatelor moder-
ne de redat discuri. — Înregistrarea discurilor. — Fabrica-
rea discurilor. — Redarea discurilor. — Filmele sonore. —
Magnetofonele. — Magentoscoapele și videodiscurile.

<u>Convorbirea a 20-a... și ultima</u> APLICAȚIILE ELECTRONICII	325
---	-----

Măsurarea electronică a temperaturii. — Electronica medi-
cală. — Radiolocatorul. — Informatică, automată, teleco-
mandă.

Personajele :

CURIOSUS — tânăr profesor de electronică, care anterior a studiat acest domeniu dialogînd cu unchiul său **RADIOL**, profesor reputat.

IGNOTUS — adolescent, care nu posedă decît noțiuni elementare de fizică și matematică ; inteligent, el este capabil să asimileze ușor toate problemele care-l pasionează, cele de electronică acaparîndu-i toată atenția.

Convorbirea 1.

Telegrafia fără fir — Radioul — Electronica

Înainte de a începe studierea electronicii, prietenii noștri trec în revistă tot trecutul acestui domeniu, începînd cu undele electromagnetice produse pe cale experimentală, realizarea telegrafiei fără fir, începuturile radiodifuziunii etc. Expunerea se împarte în trei etape, ale căror denumiri apar în titlul convorbirii.

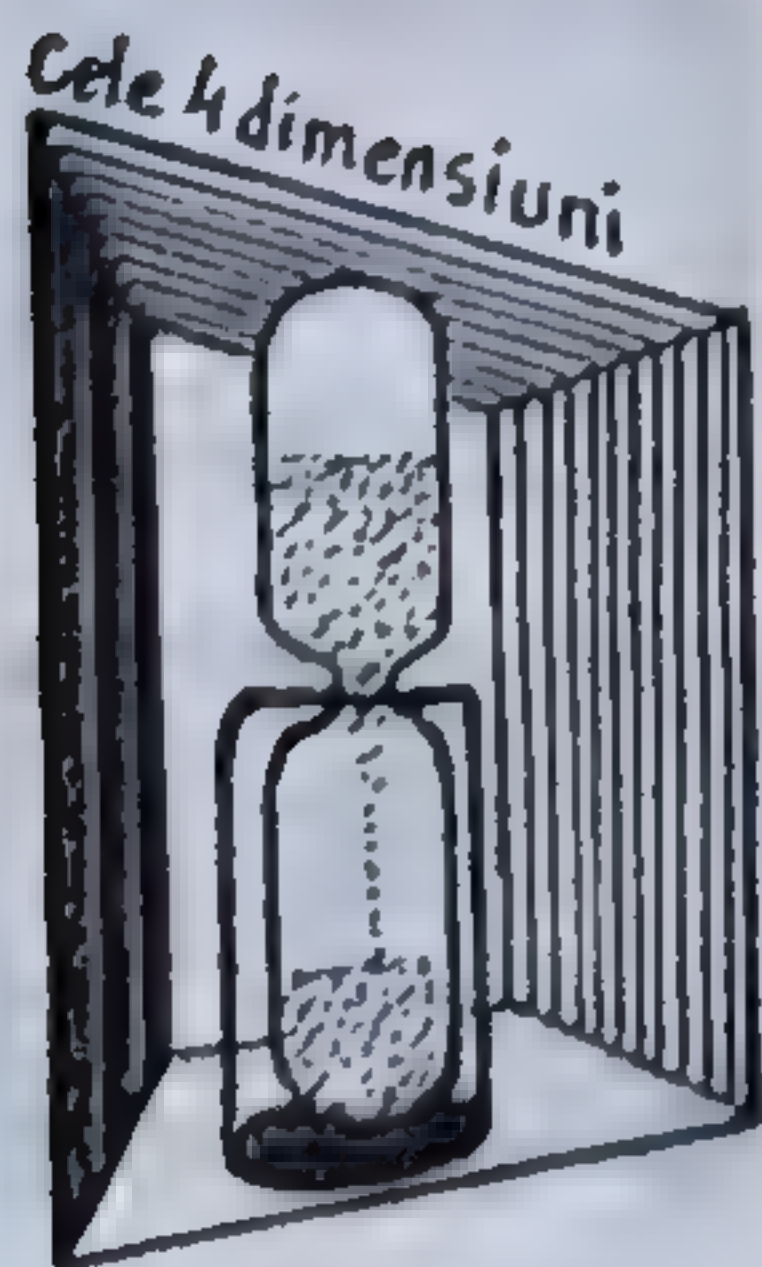
CUCERIREA UNIVERSULUI

IGNOTUS : Ieri seară am privit, cu foarte mult interes, imaginile în culori transmise de pe planeta Marte. Vehiculul construit prin cooperare sovieto-americană și depus pe Marte de o echipă formată din cosmonauții ambelor țări se deplasează într-un peisaj de-a dreptul straniu. Este foarte emoționant faptul că noi oamenii putem urmări în direct toată acțiunea, sau cu alte cuvinte, imaginile luate de camera de televiziune plasată pe vehiculul planetar ajung la noi imediat.

CURIOSUS : Dragul meu prieten, să nu-ți închipui că transmisiunea în direct înseamnă că imaginea este recepționată pe



225 000 000	300 000
210 0000	750
1500000	
1500000	
0000000	



pământ concomitent cu captarea sa. Nu uita că undele electro-magnetice care transportă semnalele de radio și televiziune se deplasează cu viteza luminii, adică cu 300 000 kilometri pe secundă. Ori distanța ce desparte planeta Marte de pământ este aproximativ de 225 milioane de kilometri. Și acum te pun la treabă. Împarte 225 milioane de kilometri la 300 000 și astfel vei determina timpul în care imaginile luate pe Marte ajung pe pământ.

IGNOTUS : Am obținut 750 secunde, sau douăsprezece minute și jumătate.... Ai dreptate, Curiosus : imaginea nu ajunge în aceeași clipă pe pământ. Dar acest lucru nu face ca toată treaba să fie mai puțin pasionantă. Grație televiziunii omul poate studia elementele sistemului solar. Și foarte curînd, fii sigur de asta, televiziunea va da posibilitate omului să studieze și alte stele, inclusiv sistemele lor planetare.

CURIOSUS : Fără îndoială. Dar, în acest caz, ținînd seama de viteza de propagare, drumul spre pământ al imaginilor va dura cîțiva ani. Pentru stelele cele mai apropiate, călătoria undelor se face în circa patru ani și jumătate.

IGNOTUS : Ne vom înarma cu răbdarea necesară și astfel vom cuceri universul. Toate obstacolele puse de cucerirea spațiului vor fi învinse grație electronicii. Sunetele și imaginile parcurg distanțele cu o viteză uluitoare, iar noi, fără a ne părăsi căminul, auzim și vedem tot ce se petrece pe cele cinci continente și chiar în cosmos.

UNIVERSALITATEA ELECTRONICII

CURIOSUS : În afară de cele trei dimensiuni ale spațiului, electronica a cucerit și pe cea pe care o denumim „a patra dimensiune”, cea a timpului. În momentul de față putem înregistra și apoi reproduce atât sunetele cît și imaginile. Iată, dragă prietene, și instrumentul care înregistrează conversația noastră de la începutul ei și care se numește magnetofon.

IGNOTUS : Cum funcționează ?

CURIOSUS : Ei, dragul meu, pînă să ajungi să-i cunoști funcționarea trebuie să studiezi mai întîi mai multe lucruri : microfonul, amplificarea, electromagnetismul, difuzorul. Dar, nu te speria, le vom studia pe rînd.

IGNOTUS : Aș dori foarte mult să le studiez, deoarece sînt foarte impresionat de universalitatea electronicii care, după cum văd, a pătruns în toate domeniile activității umane. În industrie totul se automatizează grație dispozitivelor electronice

de comandă. Cercetarea științifică face apel la atâtea procedee electronice! Medicii se servesc de ea atât pentru stabilirea diagnosticului, cât și în terapeutică.

CURIOSUS : Dar uiți să menționezi calculatorul electronic. Acum două secole, prin descoperirea mașinii cu abur s-a economisit forța musculară a omului. În prezent, cu ajutorul calculatorului și grație posibilităților sale de calcul, logică și memorie, se menajează mult creierul uman.

IGNOTUS : Dar calculatorul este de fapt o creație mult mai recentă decât mașina cu abur.

CURIOSUS : Bineînțeles. Prima mașină electronică de calcul a fost realizată în 1944. Dar progresul merge iute și dezvoltarea calculatoarelor este unul din cele mai semnificative exemple în acest sens.

NAȘTEREA TELEGRAFIEI FĂRĂ FIR

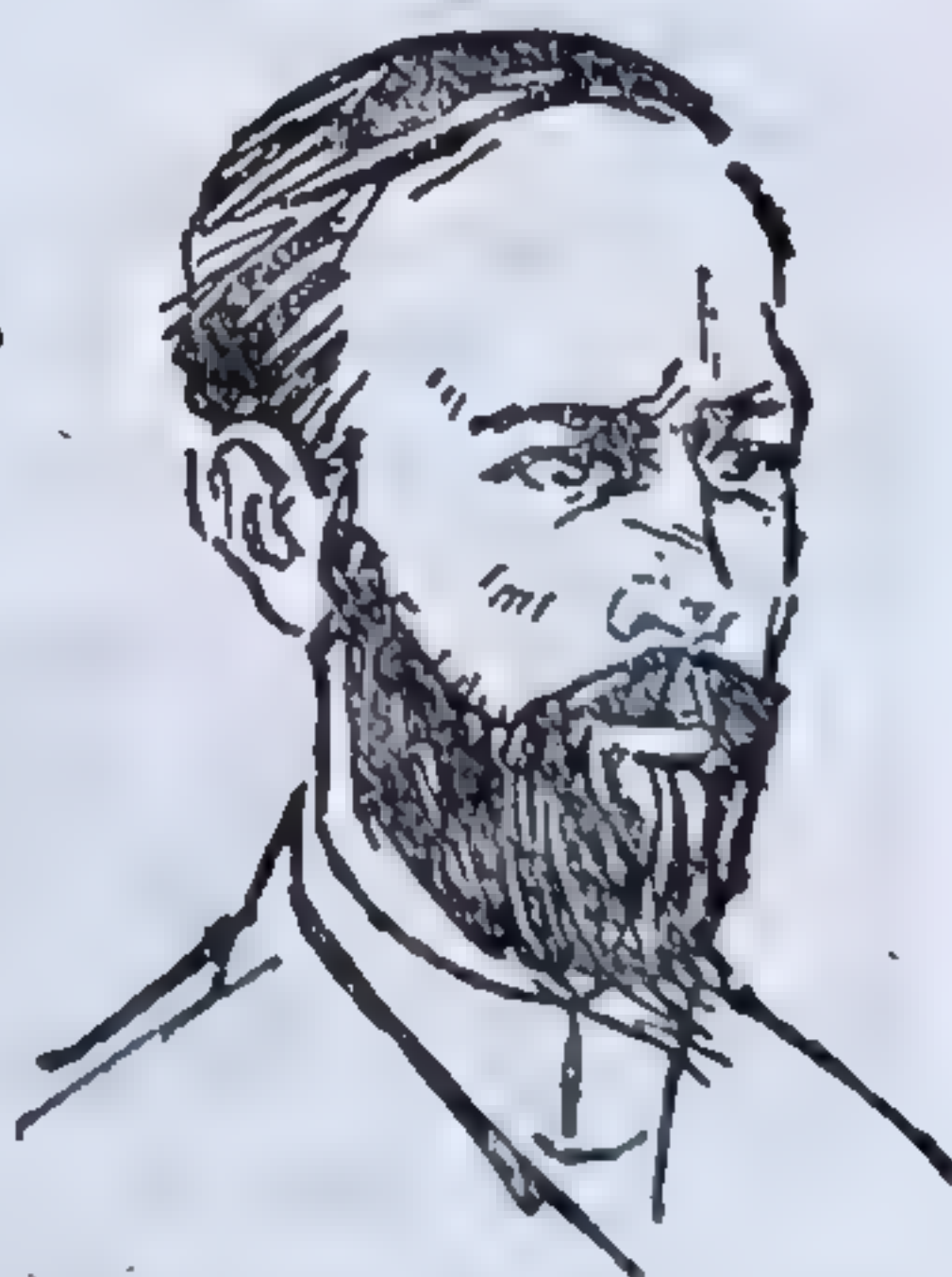
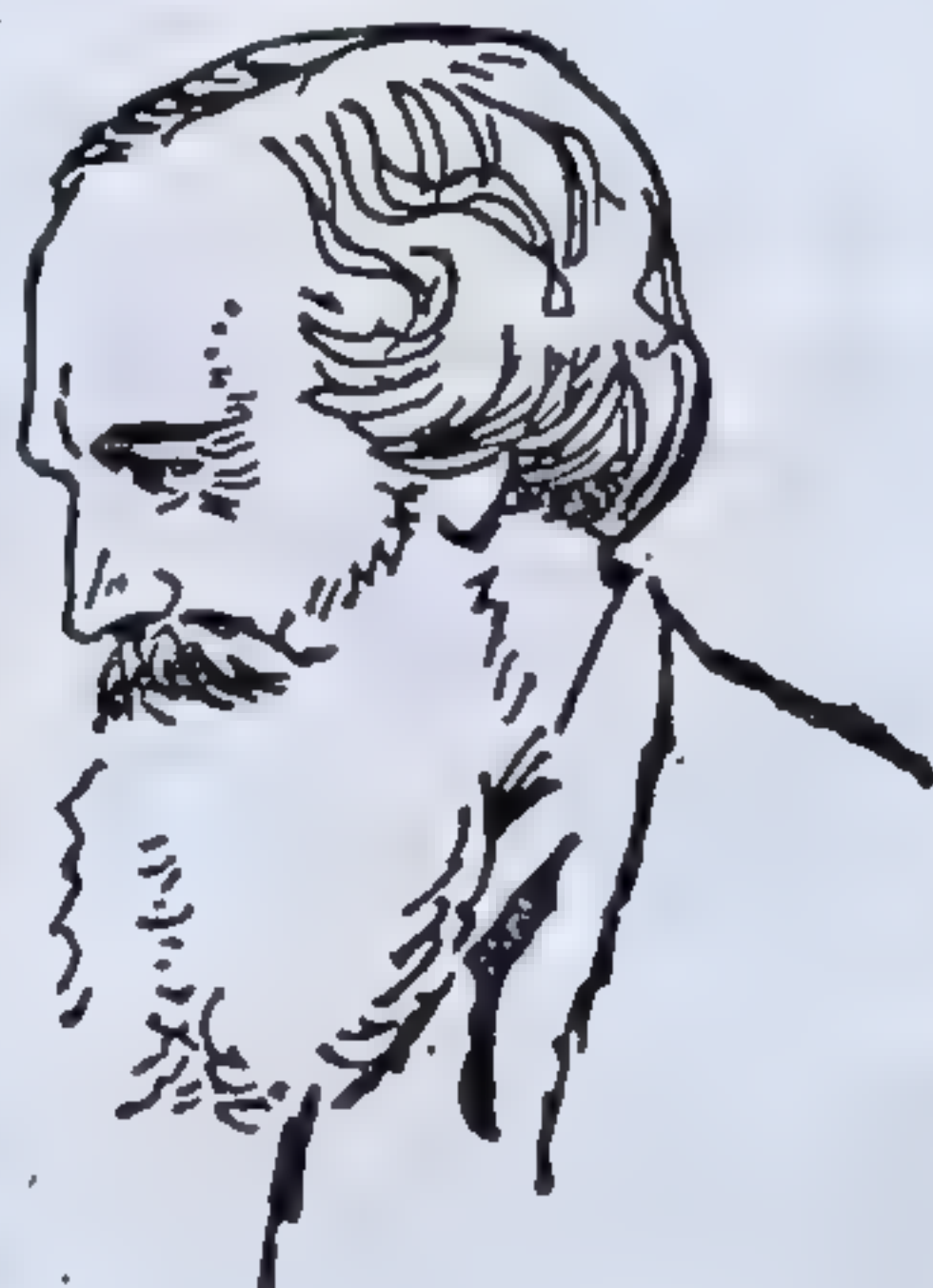
IGNOTUS : Spune-mi, te rog, cum a debutat de fapt toată această prodigioasă tehnică electronică?

CURIOSUS : Totul a început de la telegrafia fără fir.

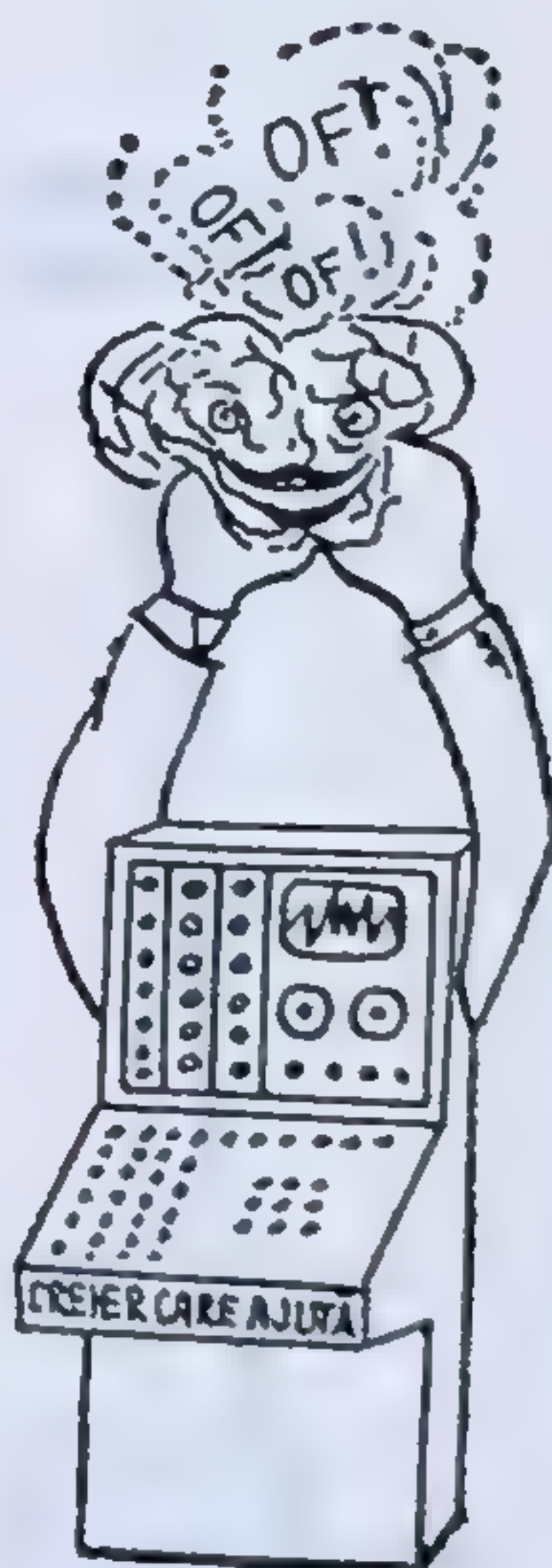
Heinrich Hertz

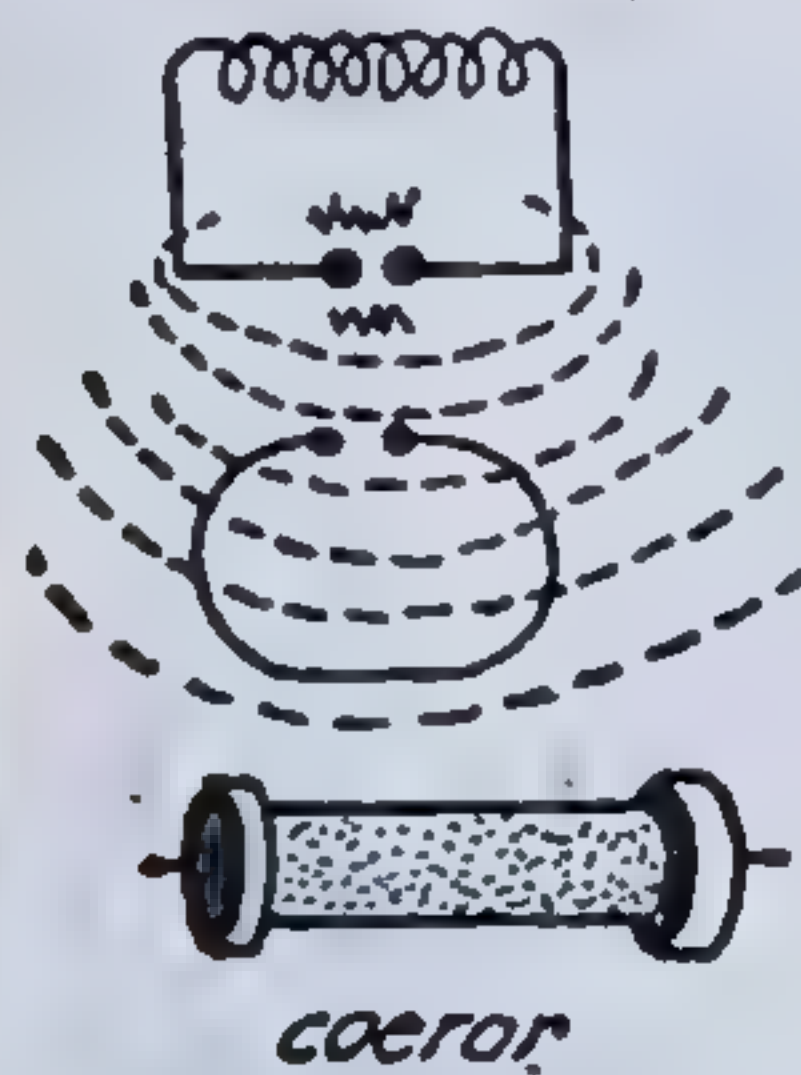


Michael Faraday

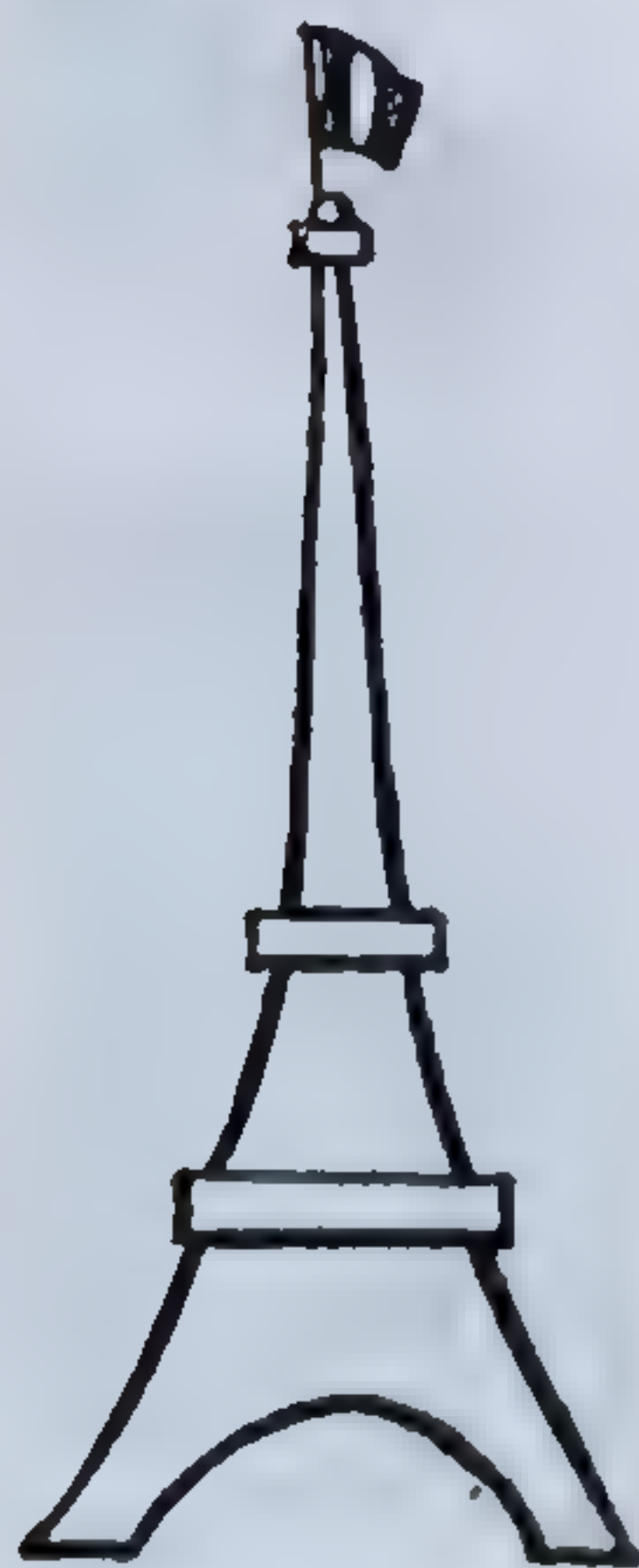


James Clerk Maxwell





coeror



IGNOTUS : Ce om de geniu a inventat-o ?

CURIOSUS : Este o invenție colectivă și, aș spune chiar, un foarte frumos exemplu de cooperare internațională. La început, un autodidact genial, fizicianul englez Michael Faraday a formulat intuitiv în anul 1832, teoria câmpurilor electrice și magnetice. Un alt savant englez (dar de origină scoțiană) James Clerck Maxwell, dezvoltă ideile lui Faraday și demonstrează că variațiile câmpului magnetic se propagă în spațiu sub formă de unde. În plus, teoria lui Maxwell este materializată sub forma unor formule care îi poartă numele și care permit calcularea vitezei de propagare a acestor unde în funcție de mediul în care se deplasează. Tot Maxwell a demonstrat faptul că lumina este compusă din unde electromagnetice și i-a calculat viteza, a cărei valoare — după calcule făcute mult mai târziu — era exactă.

IGNOTUS : Formidabil ! Iată un caz în care matematica a devansat experiența.

CURIOSUS : Este adevărat. Primul care a reușit să obțină unde electromagnetice a fost un profesor german de fizică, care se numea Heinrich Hertz. În 1887, a reușit să producă în laboratorul său scînteii electrice cu ajutorul unor tensiuni înalte produse de o bobină Ruhmkorff. El detecta aceste unde cu ajutorul unui „detector”, un fel de buclă metalică. Între capetele apropiate ale buclei, sub influența undelor herțiene, apăreau scînteii. Undele electromagnetice au fost denumite unde herțiene, după numele descoperitorului lor sau după primul om care le-a produs pe cale experimentală.

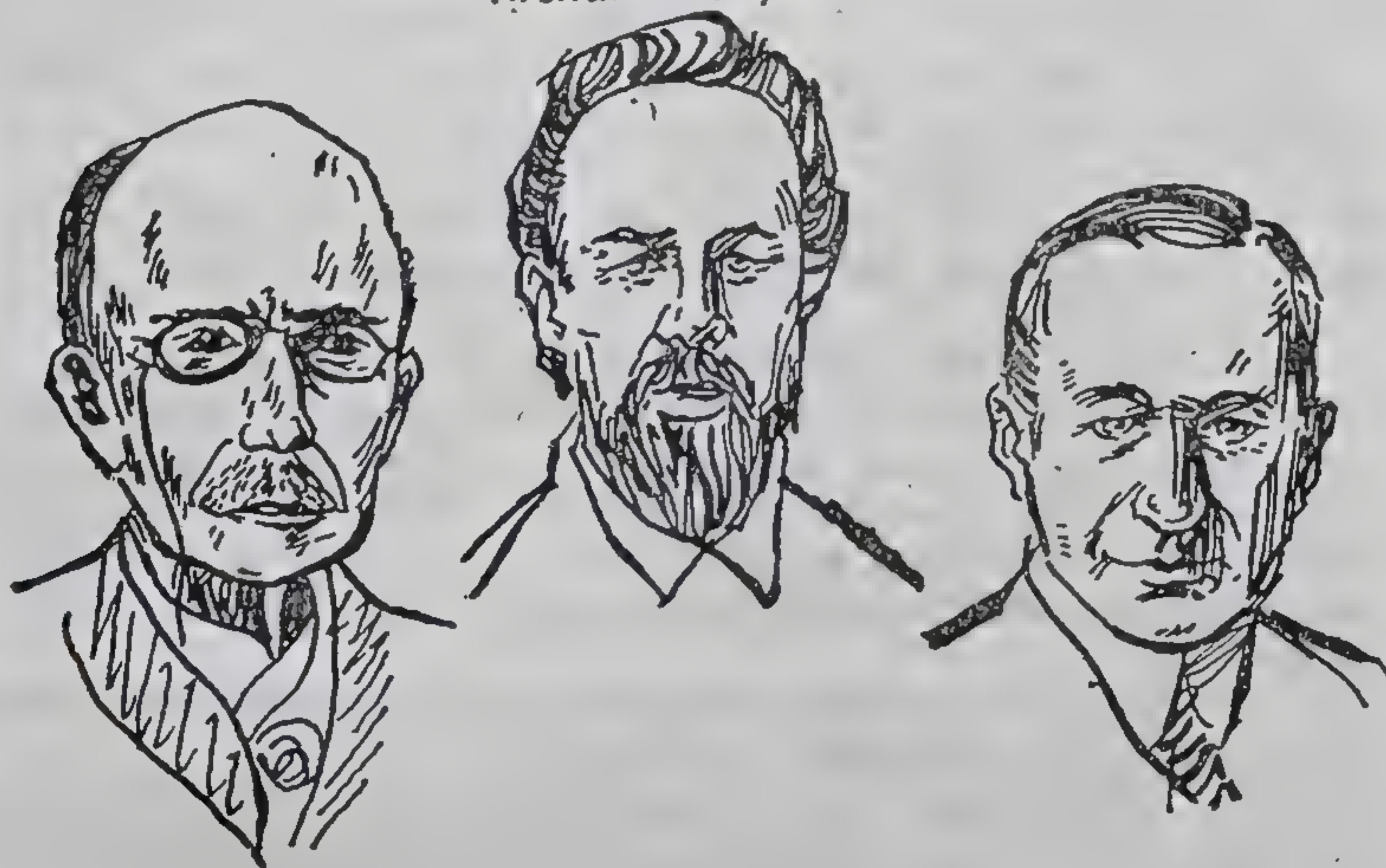
IGNOTUS : Îmi închipui că termenul „detectie” pe care l-ai pronunțat adineauri înseamnă „descoperire”. Este vorba de același lucru pe care-l fac detectivii în romanele polițiste, care de altfel îmi plac atît de mult... Dar mă întreb dacă acest „rezonator” a lui Hertz permite detectarea undelor emise la mare distanță ?

CURIOSUS : Nicidecum. Acest detector era foarte puțin sensibil. Un alt savant, fizicianul francez Edouard Branly, a descoperit în 1890 că rezistența electrică a pudrelor metalice scade foarte mult sub acțiunea undelor electromagnetice. Astfel s-a creat un aparat foarte sensibil pentru detectarea acestor unde, ceea ce a permis în 1895, deci cinci ani mai târziu, profesorului rus Alexandru Popov să realizeze primele transmisii de telegrafie fără fir. Demonstrația a realizat-o la 7 mai 1895, în fața membrilor Societății Ruse de Chimie și Fizică reuniți la Leningrad (Petersburg).

IGNOTUS : Ai avut multă dreptate cînd ai vorbit de cooperare internațională. Pentru realizarea telegrafiei fără fir, au fost necesare cercetările și descoperirile a doi englezi, un german, un francez și un rus.

CURIOSUS : Dar nu numai la asta se limitează acest minunat exemplu de lucru în comun ce nu a cunoscut frontierele.

Alexandr Popov



Edouard Branly

Giuglielmo Marconi

Primele legături la mare distanță au fost realizate de un tânăr italian Guglielmo Marconi, în 1899, an în care a reușit să stabilească legătura deasupra Canalului Mîneei. Doi ani mai târziu, la 12 decembrie 1901, el a realizat traversarea oceanului Atlantic de către undele electromagnetice. Și în sfîrșit, în 1906, americanul Lee de Forest a inventat lucrul cel mai de seamă din domeniul care ne interesează.

IGNOTUS : Dar ce anume a inventat ?

CURIOSUS : Prima „lampă de telegrafie fără fir“ cum era denumită atunci ; căci astăzi o denumim cu toții „tub electronic“.

EPOCA RADIOULUI



IGNOTUS : Dacă înțeleg bine, termenul de „electronică” este relativ recent ?

CURIOSUS : Chiar așa, și aș putea adăuga că istoria tehnicii electronice se poate împărți în trei etape : telegrafia fără fir, radioul și, în sfârșit, electronica.

IGNOTUS : Când a început epoca radioului ?

CURIOSUS : Ea începe cu realizarea radiodifuziunii. Invenția tubului electronic a permis utilizarea undelor electromagnetice pentru transmiterea sunetelor. Așa s-a născut radiotelefonie. La începutul anilor douăzeci, în mai multe țări, s-a lansat radiodifuziunea. În Franța ea a debutat în 1921, iar în România în 1928.

IGNOTUS : Cum se recepționau pe atunci emisiunile ?

CURIOSUS : Înainte de 1930, receptoarele de radio, echipate cu lămpi, trebuiau alimentate în curent continuu. În acest scop se utilizau pile sau acumulatori. Pentru încălzirea filamentelor era necesară o pilă de 4 V, iar alta de 80 V asigura tensiunea anodică. Bineînțeles că ambele erau plasate în afara aparatului.

IGNOTUS : Nu te mai pot urmări. Ce înseamnă „încălzirea filamentului” și „tensiunea anodică” ?

CURIOSUS : Am să-ți explic mai târziu. Acum însă vom continua să mai cercetăm puțin trecutul tehnicii noastre. Revin asupra radioreceptoarelor din anii douăzeci. Foarte puțin sensibile, ele necesitau deseori utilizarea unei antene exterioare sau a unui colector de unde de tipul „cadru”. În ceea ce privește difuzoarele, acestea se găseau în exteriorul receptoarelor. Îți dai seama la ce glume duceau toate acestea, deoarece principiul pe care se bazau toate firele acestea era acela al telegrafiei „fără fir”.

IGNOTUS : Totuși, cum s-a schimbat în cele din urmă ?

CURIOSUS : Începând cu anul 1930, s-a realizat alimentarea receptoarelor de la rețea. În marea majoritate a acestor aparate, s-a aplicat principiul schimbării frecvenței, principiu inventat în 1917 de inginerul francez Lucien Lévy. Acest lucru a permis obținerea unei sensibilități importante, astfel încât pentru captarea undelor era suficient un simplu „cadru”. În plus, în interiorul aparatului s-a plasat și difuzorul.

IGNOTUS : Și astfel transmiterea sunetelor s-a simplificat foarte mult. Dar cea a imaginilor ?



CURIOSUS : Experimentarea televiziunii s-a realizat în al doilea deceniu al secolului nostru, iar transmisia a început în anii treizeci. A fost însă întreruptă de cel de al doilea război mondial.

DEZVOLTAREA ELECTRONICII

IGNOTUS : Evident, războiul oprește orice fel de progres al tehnicii.

CURIOSUS : Te înșeli, Ignotus. Electronica s-a dezvoltat atât de rapid și datorită problemelor militare pe care trebuia să le rezolve, devenind o ramură de sine stătătoare a tehnicii moderne. Nu uita că datorită radarului au fost salvate sau apărute de bombardamentele aeriene orașe întregi.

IGNOTUS : Ai dreptate. Vorba ceea „tot răul spre bine“.... Îmi închipui că la sfârșitul ostilităților, tehnica noastră s-a dezvoltat și mai mult.

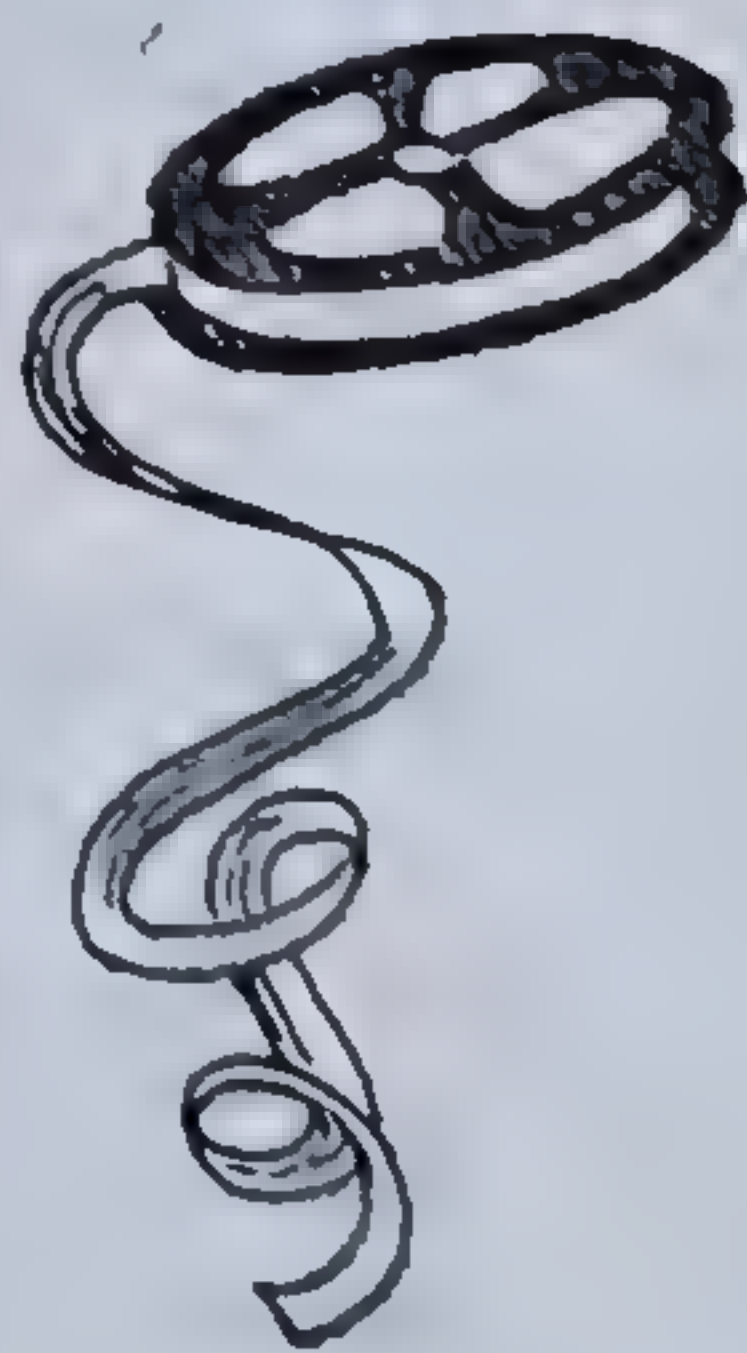
CURIOSUS : Este adevărat, prietene. Numai după război a început electronica să pătrundă în toate domeniile de activitate umană. Faptul care a declanșat însă această uluitoare dezvoltare pe care a cunoscut-o, este descoperirea tranzistorului în 1948 de către trei cercetători americani: Bardeen, Brattain și Shockley. Pentru aceasta au primit premiul Nobel. L-au meritat din plin. Tehnica nouă a semiconductoarelor, născută o dată cu tranzistorul, a condus la microminiaturizare și a mărit enorm domeniile de aplicație ale electronicii.

IGNOTUS : Îți mulțumesc frumos, dragă Curiosus, pentru scurta prezentare a istoriei unei tehnici care mai întâi s-a numit telegrafie fără fir, apoi radio, ca în sfârșit să devină electronică. Toate acestea îmi cresc dorința de a o studia. Ai putea să-mi expui noțiunile fundamentale și principalele lor aplicații, cum ar fi radioul și televiziunea?

CURIOSUS : Cu cea mai mare plăcere. Dar mai întâi am să-i cer unchiului meu, profesorul Radiol, să mă sfătuiască cum și de unde să încep.

IGNOTUS : Sper că nu mă va descuraja, cu toate că mă cunoaște ca un ignorant în domeniile cele mai elementare ale fizicii și în special ale electricității.

CURIOSUS : Acesta era exact cazul în care eram și eu, în momentul în care unchiul meu mi-a explicat electronica. Dar am să-i trimit banda de magnetofon pe care am imprimat toată conversația noastră. Astfel își va da perfect seama despre ce este vorba. În acest mod am recurs și ne-am servit de serviciile electronicii.



Profesorul Radiol explică :

Structura materiei

Profesorul Radiol expune, în acest capitol, compoziția moleculelor și atomilor, atracția dintre sarcinile electrice de sensuri opuse, comportarea straturilor de valență și, în sfârșit, caracteristicile care deosebesc între ele materialele conductoare, izolatoare și semiconductoare.

Dragii mei Curiosus și Ignotus,

Am ascultat cu multă atenție conversația pe care ați avut-o și pe care ați înregistrat-o cu ajutorul magnetofonului. După ce am șters banda, am reutilizat-o pentru a vă lămuri problemele care vă interesează atât de mult.

După părerea mea, înainte de a începe studiul electronicii propriu-zise, trebuie ca mai întâi să posedați unele noțiuni de bază din electricitate. Și pentru ca acestea să nu fie superficiale, trebuie să aprofundăm lucrurile, adică să ne ocupăm mai întâi de structura materiei. Deoarece, după cum însuși numele său o indică, electronica se bazează pe comportarea electronilor. Important este faptul că aceștia sînt cuprinși în toate elementele sau corpurile existente.

DIMENSIUNILE MOLECULELOR

Știți că cel mai mic grăunte de materie, care mai posedă încă toate proprietățile esențiale ale acestora, se numește *moleculă*. În momentul cînd este vorba de substanțe complexe, fiecare moleculă este compusă dintr-un anumit număr de

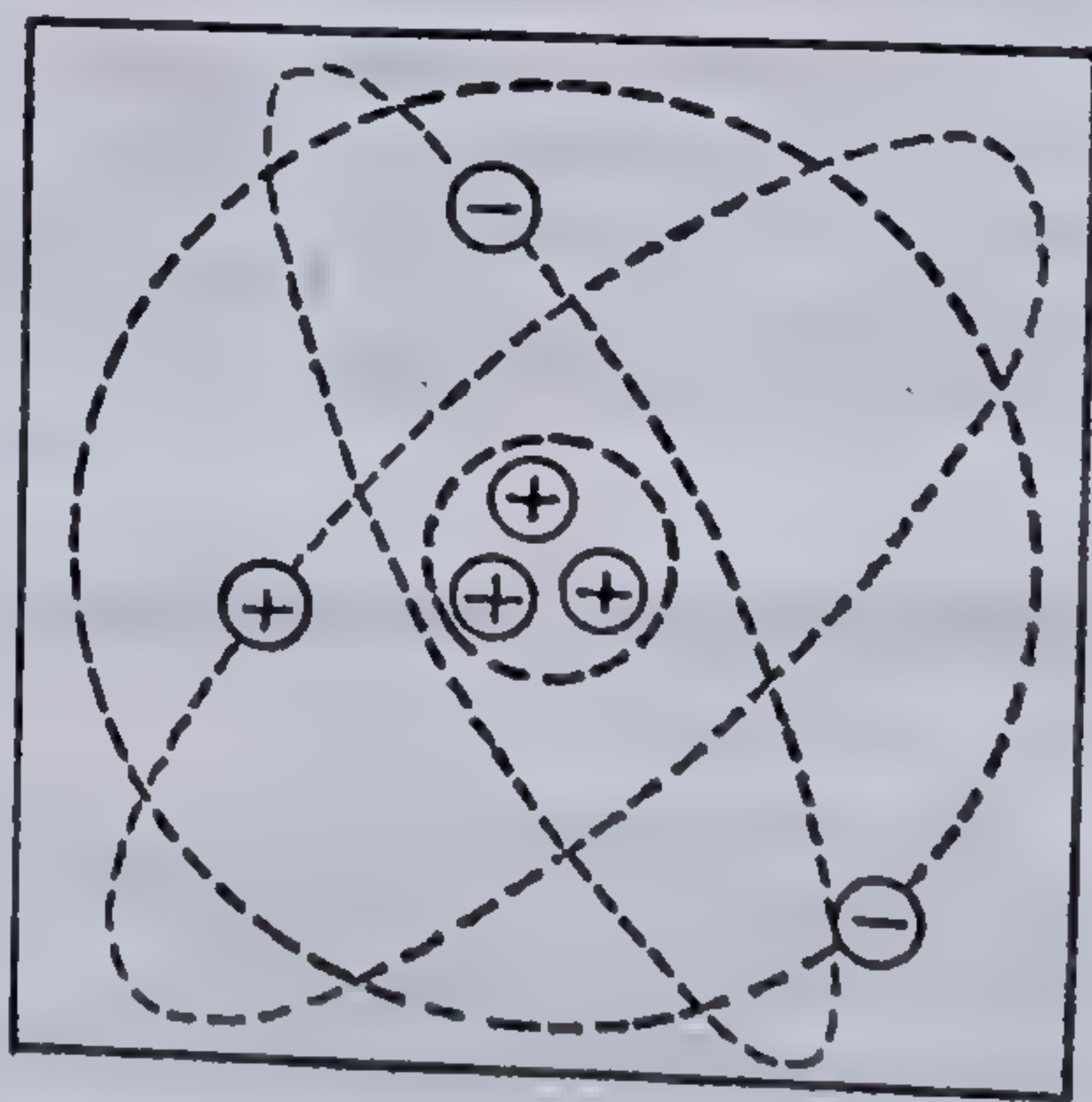
atomi; astfel, molecula de apă conține doi atomi de hidrogen și un atom de oxigen.

Moleculele sînt foarte mici și, de asemenea, foarte ușoare. Un singur milimetru cub de apă conține 40 de miliarde de molecule. Cu alte cuvinte, dacă ați dori să așezați aceste molecule pe o linie dreaptă care unește luna cu pămîntul, deci pe o distanță de 380 000 kilometri, ar trebui ca pe fiecare centimetru să așezați cîte un miliard de molecule.

După acest exemplu îmi închipui că veți înțelege și în consecință veți pătrunde mai bine în acest microcosmos, care, în raport cu lumea care ne înconjoară este atît de mic încît poate fi comparat cu raportul dintre lumea noastră și macrocosmosul care ne înconjoară și se numește univers, univers în care distanțele sînt calculate în ani lumină. Dar voi știți că un an lumină este distanța pe care o parcurge lumina într-un an cu o viteză de 300 000 de kilometri pe secundă, adică aproximativ 32 milioane de secunde. Acesta face în total cam 9,5 mii de miliarde (sau mai degrabă 9,5 bilioane) de kilometri.

MICROCOSMOSUL ȘI MACROCOSMOSUL

Să revenim totuși de la macrocosmos în care aceste distanțe sînt elementare (nu se vorbește curent despre milioane de ani lumină?) spre acest microcosmos, în care minusculea moleculă se compune din unul sau mai mulți atomi. Acest ultim cuvînt, atom, de origină greacă, se traduce prin „indivizibil”. Mai multe secole la rînd s-a crezut într-adevăr că atomul este cea mai mică particică de materie. Să ne gîndim numai,



Structura unui atom. Nucleul este format din protoni pozitivi și din neutroni, aceștia din urmă nefiind figurați. În jurul nucleului lui se rotesc electronii negativi.

că atomul de hidrogen nu cîntărește decît 1.673 cuadrilionime de gram. Și cum după cîte știu nu prea sînteți obișnuiți cu acest termen „cuadrilionime“, pot să vă reamintesc că înseamnă $1 : 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000$!....

Ei bine, în acest microcosmos, această greutate este departe de a fi o greutate mică sau neglijabilă, deoarece, atomul este compus la rîndul său din particule mult mai mici. De fapt el este compus dintr-un nucleu în jurul căruia se învîrtesc *electronii*. După cum singuri constatați, atomul se aseamănă cu sistemul solar, cu singura diferență că planetele se învîrtesc în jurul soarelui pe niște orbite care se găsesc aproximativ în același plan, în timp ce orbitele electronilor sînt situate în planuri diferite.

Dacă, cu toată existența forței centrifuge, planetele continuă să se învîrtească în jurul soarelui fără să părăsească sistemul solar, aceasta se explică numai prin acțiunea forțelor de gravitație care determină o atracție între toate corpurile. În același fel electronii se învîrtesc în jurul nucleului fără să-l părăsească, deoarece acesta exercită asupra lor o forță care îi reține.

Această forță este de natură electrică. De fapt, electronii sînt sarcini electrice negative elementare. Cît despre nucleu, acesta este compus din *protoni*, aceștia fiind sarcini electrice elementare pozitive.

Ori, între sarcinile negative și cele pozitive există o forță de atracție, curios de asemănătoare cu cea a gravitației. Această din urmă este proporțională cu masa corpurilor și invers proporțională cu distanța dintre ele. Ei bine, pentru sarcinile electrice, atracția ce se exercită între ele este proporțională cu valoarea sarcinilor electrice și invers proporțională cu patratul distanței ce le desparte.

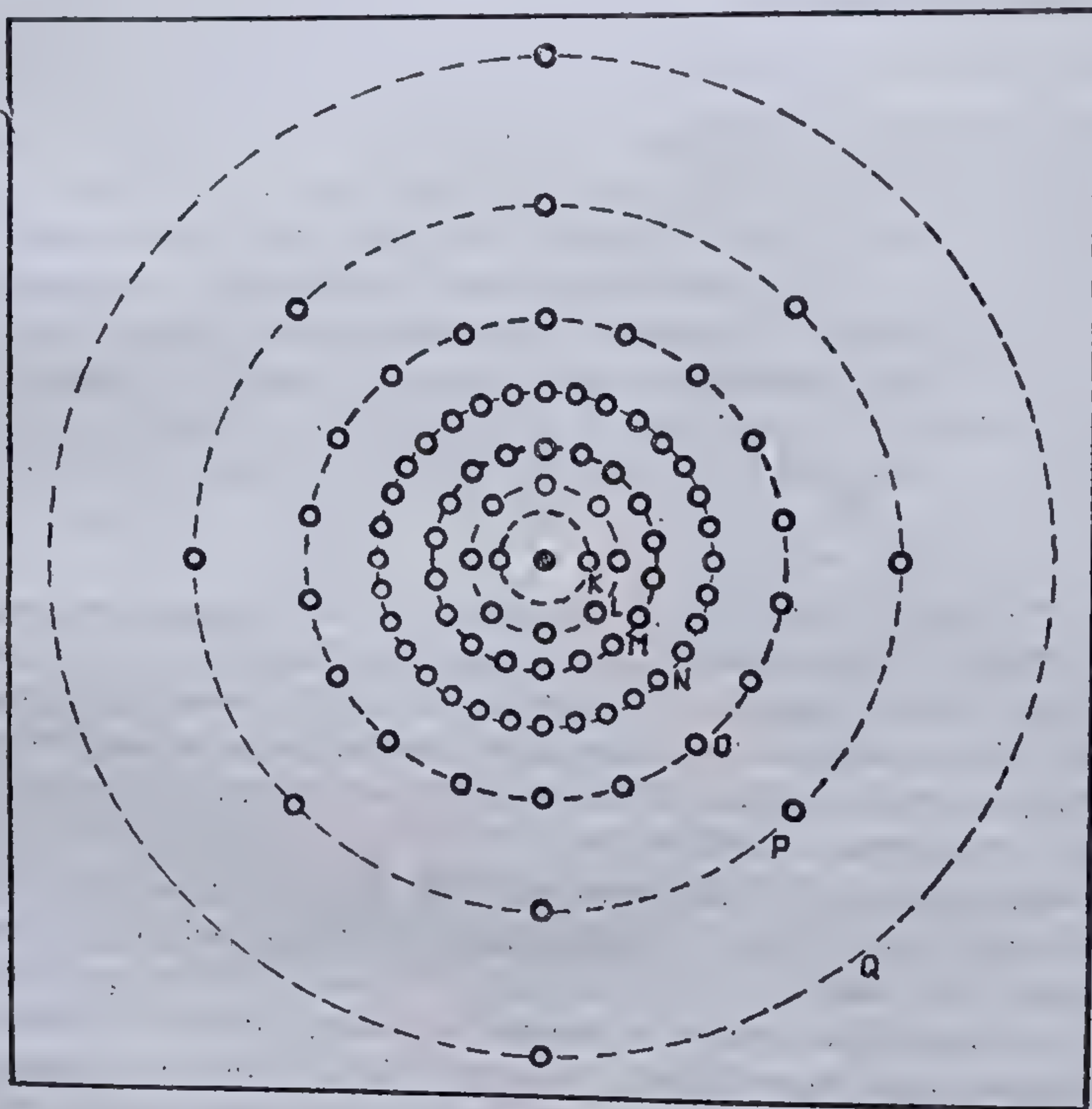
În nucleul atomului, în afară de protoni se mai găsesc și alte particule denumite *neutroni*, denumirea lor provine de la faptul că aceste particule sînt neutre, sau cu alte cuvinte nu posedă sarcină electrică. Prezența lor nu face altceva decît să mărească masa atomului.

REPARTIȚIA ELECTRONILOR

V-am spus mai sus că orbitele electronilor nu se află pe același plan, ca în cazul planetelor ce se învîrtesc în jurul pămîntului. În schimb, să nu vă închipuiți că aceste orbite sînt situate indiferent unde. De fapt ele nu pot ocupa decît șapte

nivele sau, dacă preferați, șapte sfere care au ca centru nucleul. Aceste sfere sînt denumite K, L, M, N, O, P și Q.

Sfera K este cea mai apropiată de nucleu. Ea este constituită dintr-un cerc ce are o rază de 5 miliardimi de centimetru. Razele sferelor următoare sînt proporționale cu patratul ordinului lor. Astfel, sfera L, care este cea de a doua, are o



Reprezentarea arbitrară a atomului de raziu pentru a putea scoate în evidență repartiția electronilor pe straturi. În realitate, orbitele pe care se rotesc electronii sînt situate în planuri diferite.

rază de 4 ori mai mare decît sfera K. Cît despre cea de a șaptea sferă (Q), raza sa este de fapt de 40 de ori mai mare decît sfera K sau prima.

O orbită nu poate conține mai mult de doi electroni. Numărul electronilor este limitat pentru fiecare sferă în parte. În prima sferă nu pot exista decît doi electroni. În celelalte, numărul limită al electronilor este proporțional cu raza sferei.

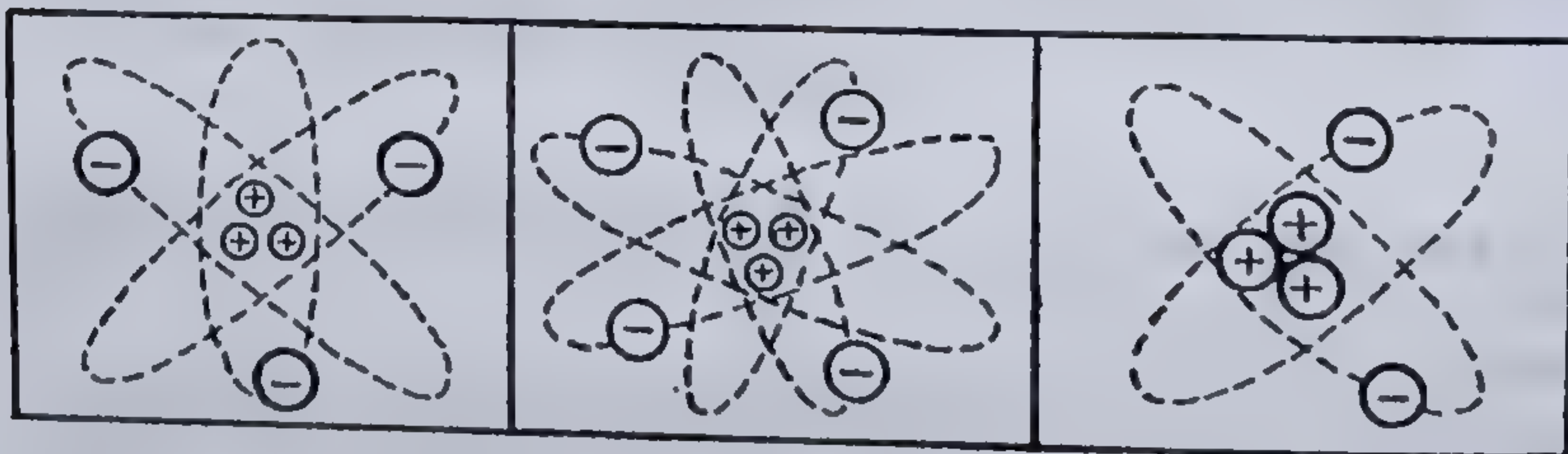
Numărul de electroni pe care-l conține sfera L este de 4 ori mai mare decât cel conținut de sfera K, iar numărul maximum de electroni pe care-i poate conține o sferă este de $2 \times 4 = 8$. Și așa mai departe.

FOARTE MULT VID !

În ceea ce privește dimensiunile diverselor elemente ce compun atomul, v-aș putea sugera o idee mai clară numai dacă vă veți imagina că acesta a fost mărit de o sută de milioane de ori. Protonii vor avea atunci mărimea unui măr, iar electronii vor avea dimensiunile unei mingi de fotbal. Orbita cea mai apropiată, adică orbita K, va avea o rază de 5 kilometri. Următoarea, adică L, o rază de 20 kilometri. Și dacă vom avea de a face cu atomi care posedă electroni pe toate orbitele sferelor, cum ar fi cazul uraniului, orbita exterioară va avea o rază de 245 kilometri.

Prin aceasta aș vrea să vă explic, că în compunerea materiei vidul ocupă aproape întregul spațiu. Dacă am dori să comprimăm toate elementele moleculelor ce formează un elefant, fără a lăsa spațiu între ele s-ar obține un corp extrem de mic, aproape invizibil chiar la un microscop puternic, greutatea sa fiind însă aceea a unui elefant.

Bineînțeles că pînă acum nici un elefant nu a fost supus unei astfel de probe. În schimb acest lucru se petrece cu toate stelele cînd acestea încep să îmbătrînescă. Ele se prăbușesc în ele înșile. Ca urmare a acestei implozii, diametrul stelei se micșorează de aproximativ zece mii de mii de ori. Cadavrul stelei nu mai este decât o gaură neagră în mijlocul cerului. Dar



a — Atom neutru ;

b — Atom negativ
(ion negativ) ;

c — Atom pozitiv
(ion pozitiv).

enorma densitate a materiei sale determină un câmp gravitațional atât de intens, conform legilor relativității generale, încît el deviază complet razele luminoase.

SFÎRȘITUL NEUTRALITĂȚII

Să revenim încă odată de la macrocosmos la microcosmos. Iată un fapt foarte important: într-un atom numărul electronilor este egal cu cel al protonilor, astfel încît sarcina electrică negativă a materiei posedă aceiași valoare cu cea a sarcinii pozitive. Aceste două sarcini electrice se neutralizează reciproc și prin aceasta atomul este neutru din punct de vedere electric.

Totuși, la anumite substanțe, electronii stratului exterior, sînt mult mai puțin atrași de sarcina nucleului fiind la o distanță considerabilă de acesta. Ei pot să părăsească atomul dacă sînt atrași de sarcini pozitive din vecinătate sau, lucru posibil, în cazul în care temperatura corpului crește. Din acest moment, echilibrul atomului este distrus: sarcina pozitivă a nucleului devine mai mare decît suma sarcinilor negative a electronilor. Atomul devine astfel pozitiv, sau după cum se spune el este *ionizat pozitiv*, cu alte cuvinte el este un *ion pozitiv*.

Acesta este cazul ionului pozitiv. Fenomenul se poate produce însă și în sens contrar. Unul sau mai mulți electroni ce se găsesc în imediata apropiere a unui alt atom pot să fie atrași de acesta și să treacă pe una din orbitele exterioare ale acestuia. Adăugînd astfel sarcina lor negativă la cea a celorlalți electroni proprii atomului, acesta își pierde neutralitatea electrică și devine negativ. Ne găsim astfel în prezența unui *ion negativ*.

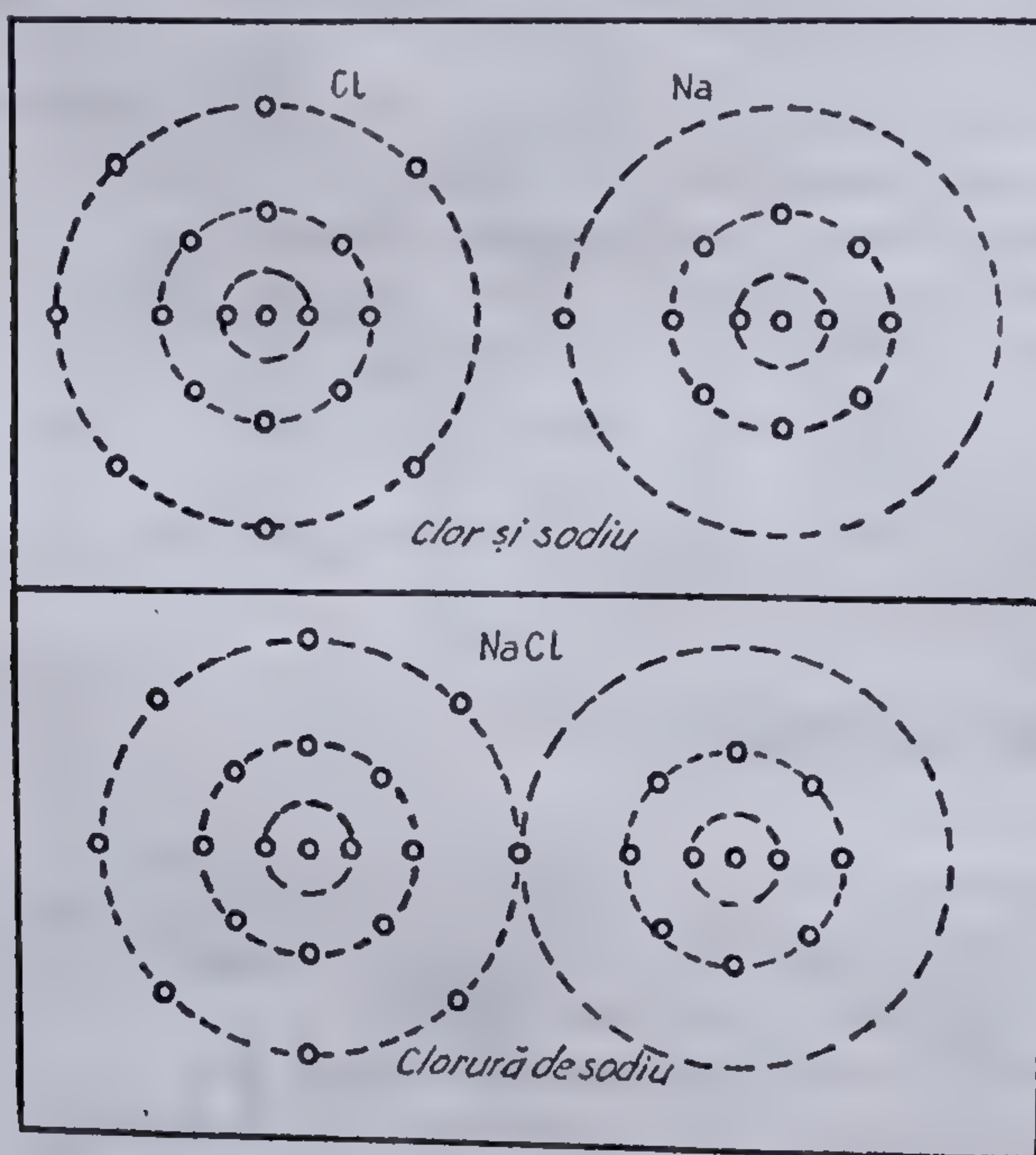
TENDINȚE DE VALENȚĂ

Stratul extern de electroni joacă un rol fundamental în formarea moleculelor, acestea fiind asociații de atomi, ce compun diverse elemente. Numai orbita exterioară poate avea electroni comuni ce aparțin unor atomi diferiți.

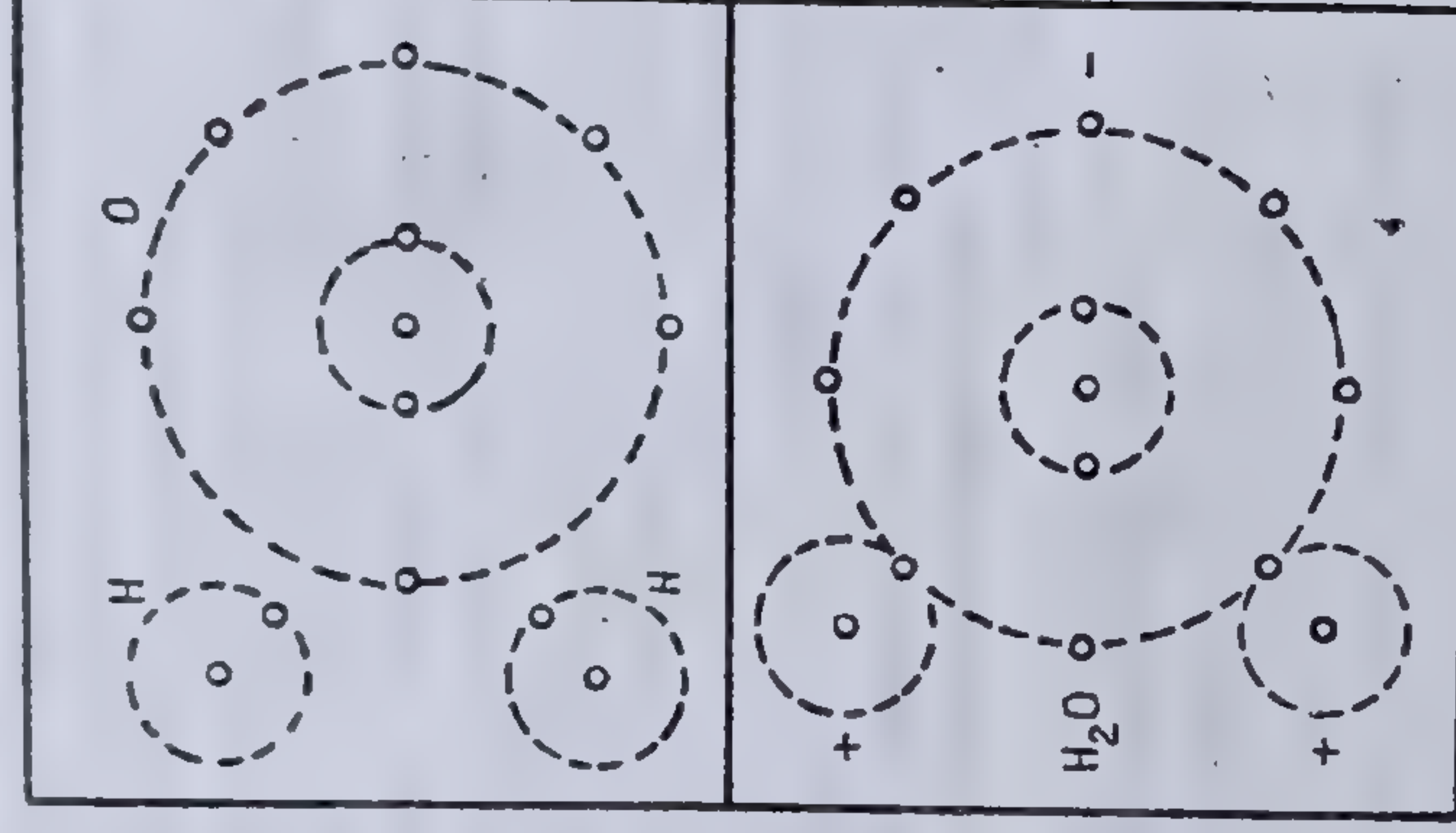
În general, orbita exterioară se simte bine și satisfăcută, numai în momentul în care pe ea se rotesc 8 electroni. În consecință, în momentul în care pe această orbită se află numai 7 electroni, ea dorește să posede 8 electroni și va încerca să mai prindă unul suplimentar; atomul care pe orbita exterioară po-

sedă 7 electroni se numește atom *monovalent*, deoarece orbita exterioară se numește orbită de valență. În cazul în care ea posedă numai 6 electroni, atunci atomul este *bivalent*. Acesta este cazul oxigenului ai cărui atomi posedă pe orbita exterioară (L) 6 electroni. În momentul în care oxigenul este pus în contact cu hidrogenul, care este cel mai ușor atom, deoarece posedă un singur electron ce se rotește în jurul unui singur proton, fiecare atom de oxigen se asociază cu doi atomi de hidrogen, în așa fel încât pe orbita exterioară, sau de valență, a atomului de oxigen, să se rotească 8 electroni. Se formează astfel acest oxid de hidrogen care este mai bine cunoscut sub numele de..... apă.

Să mai luăm un caz, cel al clorului, a cărei orbită exterioară, M, conține 7 electroni, fapt care-i determină monovalența. Pus în prezența sodiului, care pe orbita sa exterioară, M, nu posedă decât un electron, acesta se asociază cu cei 7



Prin combinarea unui atom de clor (Cl) cu un atom de sodiu (Na) se formează o moleculă clorură de sodiu sau de „sare de bucătărie”.



Doi atomi de hidrogen (H) își cedează electronii pentru a completa numărul de 8 electroni necesar atomului de oxigen (O) pentru ca acesta să-și completeze orbita exterioară L. Se formează astfel o moleculă de oxid de hidrogen, în mod obișnuit denumit „apă”.

electroni ai atomului de clor pentru a forma clorura de sodiu. Află, dragă Ignotus, că acest nume savant aparține sării de bucătărie.

CONDUCTOARE, IZOLATOARE ȘI SEMICONDUCTOARE

Vedem astfel că atomii a căror orbită exterioară atrage electronii atomilor învecinați devin ioni negativi, în timp ce atomii care au pierdut atomii de pe orbita exterioară devin ioni pozitivi. Și, după câte știm, ceea ce este negativ atrage ceea ce este pozitiv, și în consecință, asocierea a doi atomi care împreună formează molecula, este o stare foarte stabilă.

Constatați astfel că un atom a cărui orbită exterioară conține mai puțin de 8 electroni are tendința să se asocieze cu vecinii săi. Nu însă acesta este cazul neonului care posedă prin structura sa 8 electroni pe ultima orbită, fapt care-l determină să rămână deoparte, izolat sub formă de gaz.

În momentul în care numărul electronilor periferici este inferior numărului 4, atomul oferă generos din electronii săi vecinilor. Acesta este cazul tuturor metalelor, fapt pentru care

metalele sînt bune conducătoare de electricitate sau mai pe scurt posedă conductibilitate electrică.

În momentul în care orbita exterioară conține mai mult de 4 electroni, atomul refuză cedarea lor. Aceste elemente formează clasa izolatoarelor electrice.

În sfîrșit, dacă orbita exterioară conține 4 electroni, cazul germaniului și siliciului, această substanță nu va fi nici un conductor, nici un izolator. Ne găsim în prezența unui material semiconductor. Dar bineînțeles că voi știți desigur rolul important pe care aceste materiale îl joacă în prezent în electronică.

Nu vreau să vă obosesc prea mult vorbind despre domeniul atomic. Dar înainte de a părăsi microcosmosul aș vrea să subliniez că atomii corpurilor solide sînt așezați, în general, într-o ordine perfectă datorită atracției pe care o exercită nucleele atomilor învecinați asupra electronilor de pe orbitele periferice. Astfel încît majoritatea corpurilor solide posedă o structură cristalină.

După cele arătate și învățate mai sus, asupra structurii materiei, vei înțelege, Ignotus, tot ceea ce dragul meu nepot Curiosus îți va explica cu privire la curentul electric.

Convorbirea a 2-a

Electronii se plimbă

Posedînd unele cunoştinţe despre structura materiei, în special rolul jucat de electroni, Ignotus nu va întâmpina nici un fel de dificultate în înţelegerea noţiunilor fundamentale despre curentul electric, sursele de electricitate, raportul dintre intensitate, tensiune şi rezistenţă, despre valoarea acesteia funcţie de natura şi dimensiunile conductoarelor.

SPRE INFINITUL MARE ŞI SPRE INFINITUL MIC

CURIOSUS : Ce părere ai Ignotus asupra monologului unchiului meu Radiol, a cărui înregistrare ai ascultat-o ?

IGNOTUS : Sînt mai ales impresionat de strania asemănare care există între microcosmos şi macrocosmos. În tot cazul, atomul este echivalentul sistemului solar. În aceste condiţii, molecula, după părerea mea, este echivalentul unei constelaţii.

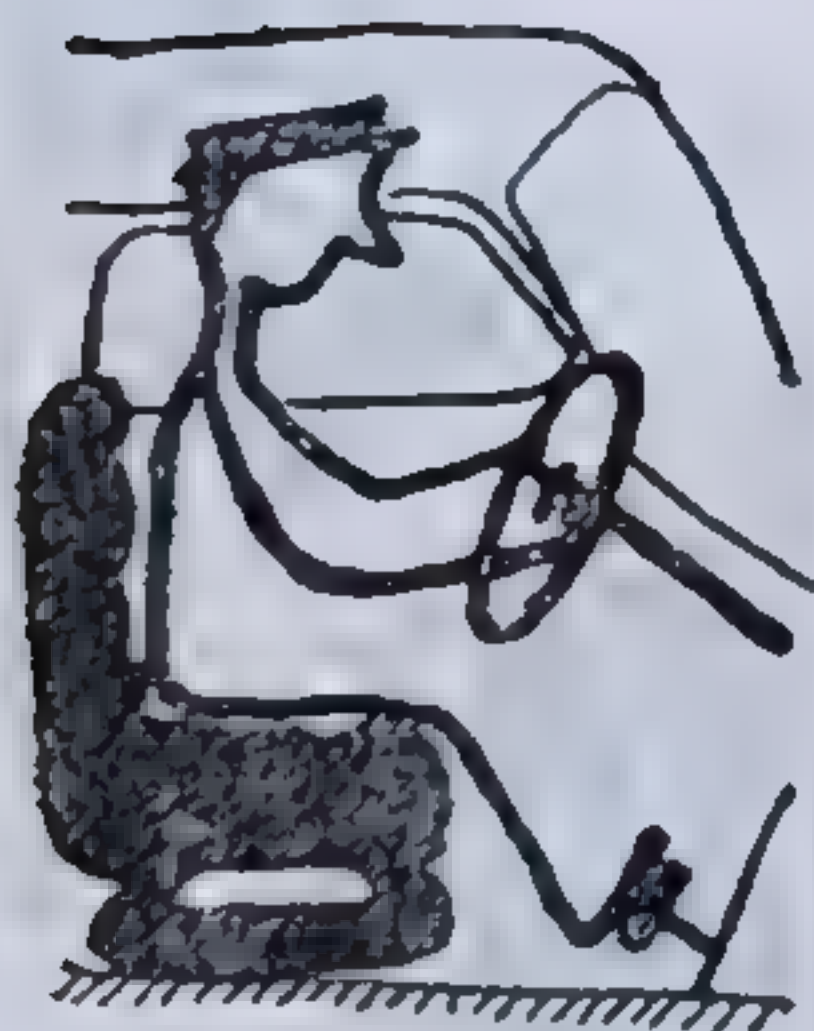
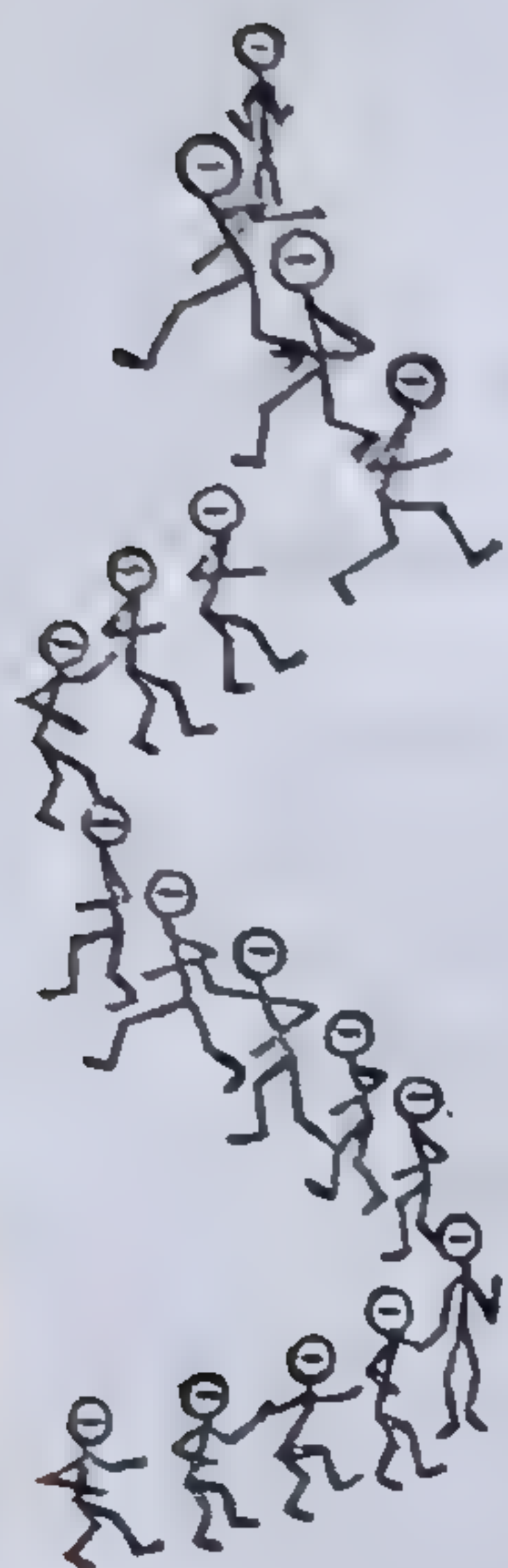
CURIOSUS : Se poate merge chiar şi mai departe şi am putea admite că tot universul, compus dintr-un ansamblu de astfel de constelaţii reunite în galaxii, constituie un tot sau un organism situat într-un superunivers.

IGNOTUS : Dragul meu, fii atent, voi emite şi eu o ipoteză. În timp ce tu vii să-mi descrii imaginea a ceea ce am putea numi „macro-macrocosmos”, eu am să încep să-mi imaginez un „micro-microcosmos”. Cine poate fi sigur că fiecare electron nu poate fi la rîndul său o planetă, poate chiar locuită şi compusă din particule mult mai mici care, la rîndul lor.....

MACROCOSMOS
MICROCOSMOS

DRUMUL ELECTRONILOR

CURIOSUS : Te opresc, Ignotus. Căci în loc să ne imaginăm atîtea lucruri — care poate nu sînt chiar neadevărate — am face mai bine să atacăm acum studiul electricităţii. Ştii



fir conductor



deja, datorită explicațiilor unchiului meu, felul în care un atom poate fi pozitiv sau negativ. Lipsa electronilor dă naștere unui ion pozitiv (atom pozitiv), în timp ce prin surplusul lor se obține un ion negativ (atom negativ), lipsa sau excedentul lor, provocând dezechilibrul electric al atomilor respectivi. Să presupunem acum că posedăm un fir conductor.....

IGNOTUS : Vrei să spui un fir realizat dintr-o substanță ai cărei atomi posedă mai puțin de patru electroni pe stratul periferic ?

CURIOSUS : Bineînțeles. Va fi de exemplu un fir de cupru. Să admitem că la una din extremități toți atomii sînt pozitivi, în timp ce la cealaltă extremitate toți atomii sînt negativi. Încearcă să explici ce se va întîmpla !

IGNOTUS : Natura iubește echilibrul. Astfel încît presupun că electronii în exces din extremitatea negativă se vor repezi spre cealaltă, aceasta fiind pozitivă.

CURIOSUS : Exact. În realitate, drumul electronilor este mai complex. Nu cei situați la una din extremitățile conductorului vor parcurge tot drumul spre cealaltă. De fapt, atomii pozitivi de aci vor atrage electronii atomilor vecini. Aceștia, deveniți pozitivi, vor atrage la rîndul lor electronii altor atomi mai depărtați. Astfel încît din aproape în aproape fenomenul se va repeta pînă în momentul în care electronii excedentari ai unei extremități vor fi atrași la rîndul lor de atomii pozitivi vecini.

IGNOTUS : Dacă înțeleg bine, tocmai această deplasare a electronilor este denumită *curent electric*. Ținînd seama de complexitatea procesului pe care l-ai descris, viteza electronilor trebuie să fie destul de mică.

CURIOSUS : Te înșeli dragul meu prieten. Ea poate atinge viteza luminii. Dar există o diferență fundamentală între viteza individuală a electronilor ce trec de la un atom la altul și viteza de propagare a ansamblului de electroni.

Să zicem că un șir de automobile este oprit în fața unui semafor pe roșu. În momentul trecerii acestuia pe verde, fiecare din automobile demarează încet. Dar dacă conducătorii lor posedă reflexe bune, ei demarează imediat după apariția culorii verzi. În acest caz, faptul care determină momentul pornirii este timpul necesar ca lumina verde să fie văzută de ochii fiecărui șofer. Cu alte cuvinte, demarajul se propagă de-a lungul șirului de mașini cu viteza luminii, adică cu 300 000 km/s. Ei bine, curentul electric se propagă și el tot cu o viteză apropiată de cea a luminii.

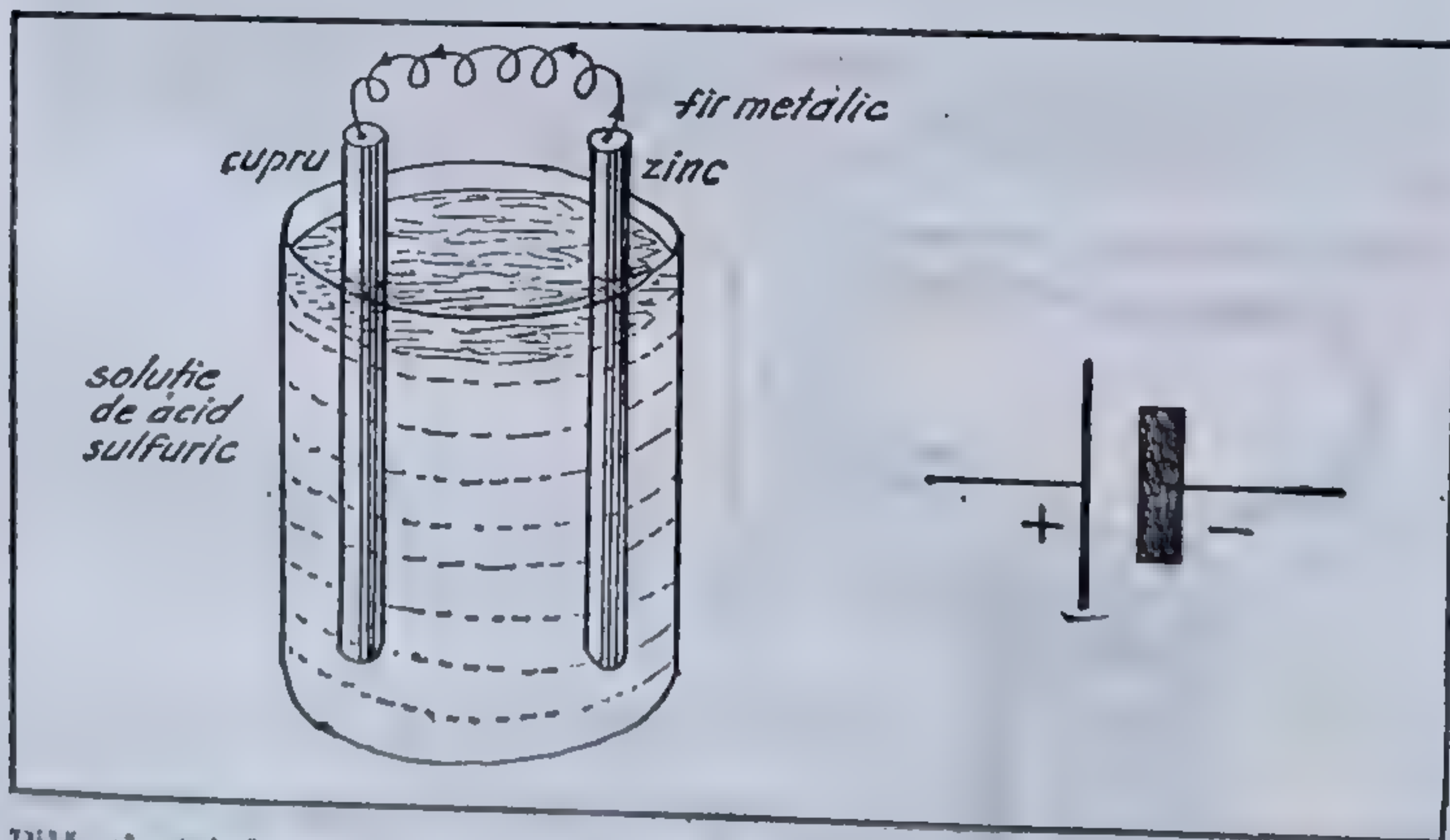
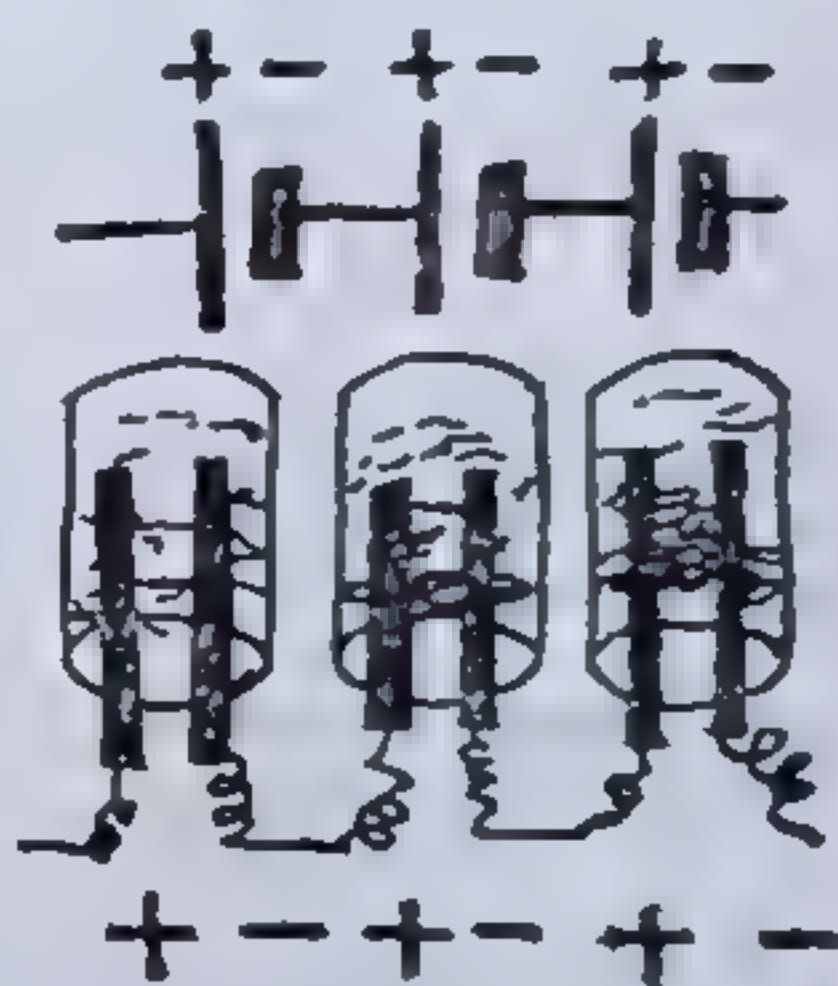
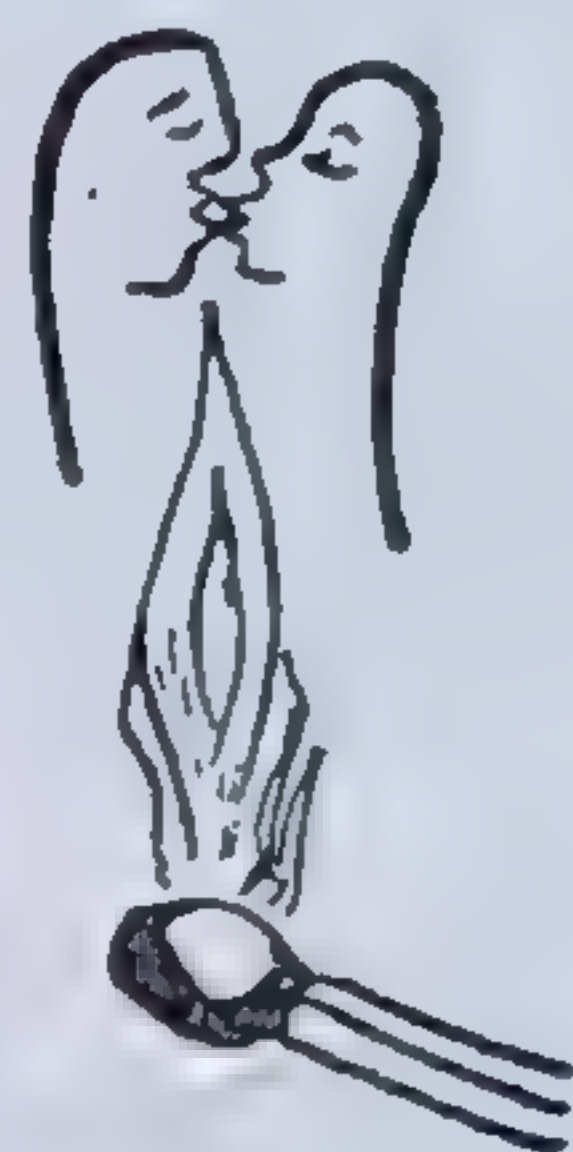
SURSE DE TENSIUNE

IGNOTUS : Odată ce între cele două extremități ale conductorului echilibrul electric este stabilit, curentul electric trebuie să înceteze.

CURIOSUS : El va continua să circule numai în cazul în care noi îi vom menține acest dezechilibru, dezechilibru care de altfel, se numește *potențial electric*. Pentru producerea diferențelor de potențial sau după cum se mai spune, a *tensiunii* se pot utiliza mai multe procedee. De fapt toate formele de energie pot fi transformate în energie electrică. Ea poate fi obținută prin încălzirea unui termo-cuplu sau prin luminarea unei celule fotoelectrice.

De asemenea, energia chimică poate fi foarte ușor transformată în energie electrică. Dacă de exemplu, într-o soluție de acid sulfuric vom introduce o bară de cupru și una de zinc, vor lua naștere imediat niște reacții chimice care vor nega zincul față de cupru. Leagă aceste două bare între ele cu un fir de cupru prin exterior și vei constata că prin fir va circula un curent continuu de electroni care se vor deplasa de la zinc înspre cupru.

IGNOTUS : Combinația aceasta nu este ceea ce noi denumim o *pilă electrică* ?

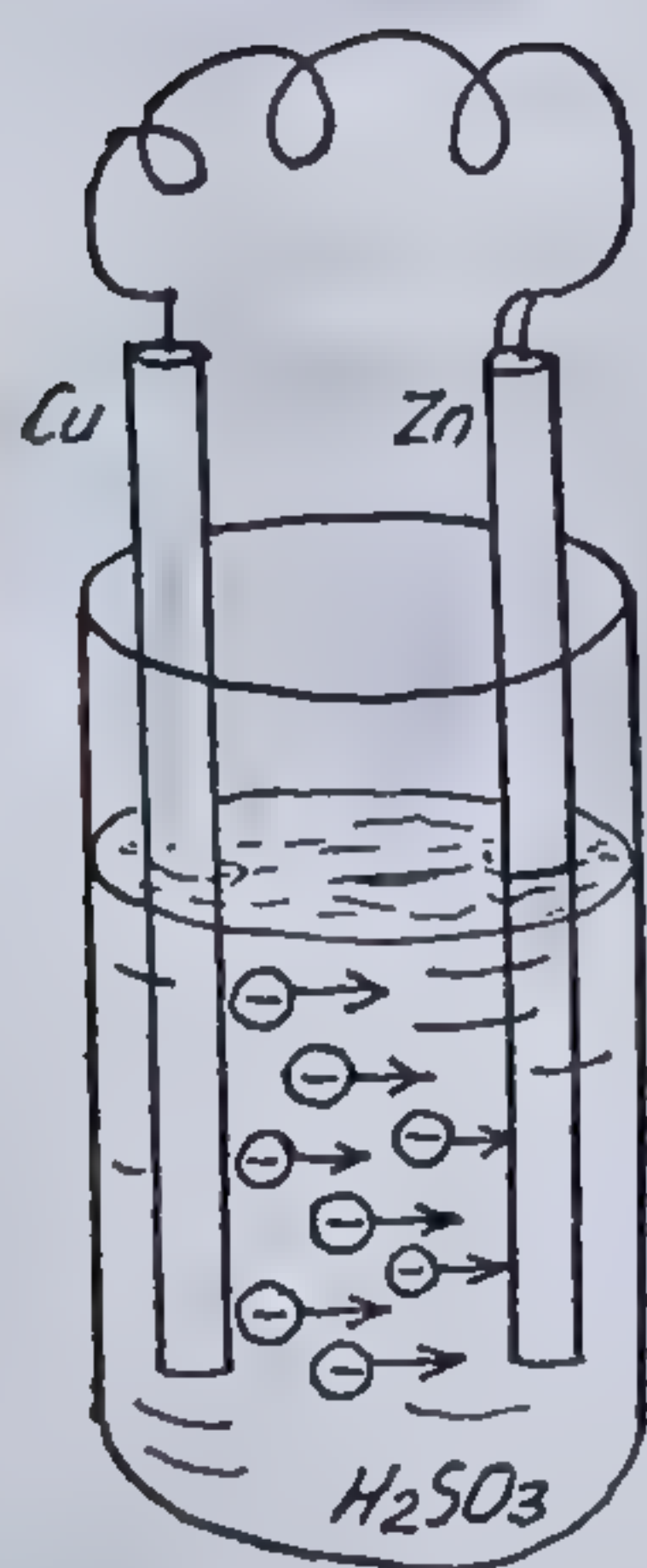


Pilă electrică (stînga) și simbolul său (dreapta). Săgețile indică sensul de deplasare a curentului de electroni care traversează firul metalic dinspre polul negativ (zincul) spre polul pozitiv (cuprul).

CURIOSUS : Da, însă acesta este modelul cel mai elementar. Între cele două bare se stabilește o tensiune de ordinul a 1,5 volți. Dacă însă vom lega mai multe pile din acestea în serie, adică vom lega polul pozitiv al uneia cu cel negativ al următoarei, vom obține o tensiune mai ridicată.

IGNOTUS : Presupun că denumirea de *pol* desemnează aici fiecare dintre cele două extremități ale pilei. Și, foarte probabil, că în această conectare în serie tensiunile se adună. Îmi închipui că în modul acesta se obțin acele *baterii* utilizate în receptoarele radio.

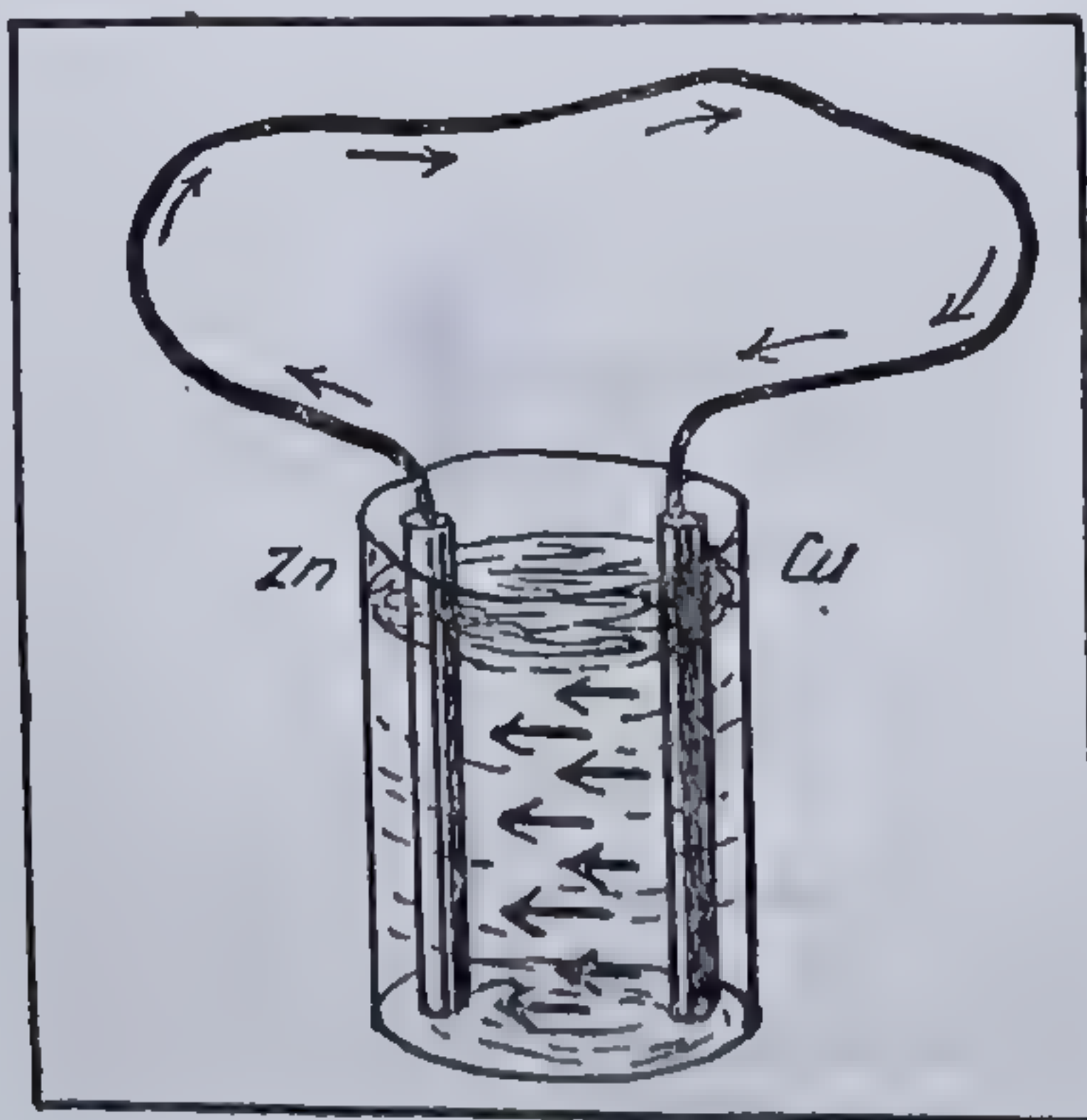
CURIOSUS : Bravo Ignotus ! Intuiția ta nu te-a înșelat nici de data aceasta. Efectiv, bateriile pe care le utilizăm, sînt așa după cum ai spus, mai multe pile legate în serie.



CONVENȚIA ȘI ADEVĂRUL

IGNOTUS : Și totuși, mai este ceva în toate acestea care mă surprinde. După tine, electronii se deplasează în conductor de la polul negativ la polul pozitiv. Ori eu am auzit persoane competente care susțin că, curentul electric circulă de la „plus“ (deci pozitiv) la „minus“ (deci negativ). Pe unde-i adevărul ?

CURIOSUS : Ceea ce ai auzit tu este adevărat, acesta fiind sensul convențional al curentului electric. El a fost adoptat de multă vreme pe cînd nu se cunoștea încă fenomenul adevărat asupra circulației electronilor. Ține seama deci, de sensul veritabil al curentului electronic care în exteriorul sursei de tensiune este îndreptat de la polul negativ la cel pozitiv.



Sensul de deplasare al electronilor în interiorul și în exteriorul pilei.

IGNOTUS : De ce pui accentul pe „exteriorul sursei de tensiune“ ?

CURIOSUS : Deoarece, în interiorul pilei, prin soluția acidă, electronii se deplasează de la bara de cupru spre bara de zinc. Vezi astfel că traseul pe care circulă electronii este perfect închis, astfel încât electronii circulă pe un traseu închis.

OMUL IGNOTUS FORMULEAZĂ LEGEA LUI OHM

IGNOTUS : Și care este deci cantitatea de electroni care realizează această plimbare ?

CURIOSUS : Această cantitate depinde de doi factori și anume : de tensiunea sursei și de *rezistența electrică* a circuitului. Numărul de electroni care trece prin rezistență poartă numele de *intensitate* a curentului. Ea se măsoară în amperi. Un amper este echivalentul a 6 miliarde de electroni pe secundă.

IGNOTUS : Dacă înțeleg bine, această intensitate este proporțională cu tensiunea și invers proporțională cu rezistența.

CURIOSUS : Bravo, prietene ! Fără să vrei ai formulat perfect *legea lui Ohm*, această lege fundamentală a întregii științe a electricității. Pentru calcularea intensității curentului, notată cu I , este suficient să se împartă tensiunea, notată cu U , la rezistența notată cu R . Aceasta din urmă este exprimată în unități denumite „ohm“ și reprezentate prin litera grecească Ω (omega). Un ohm este rezistența unui conductor, căruia aplicându-i-se tensiunea de 1 volt, lasă să treacă un curent ce posedă o intensitate de 1 amper.

IGNOTUS : Mă gândesc că această lege a lui Ohm poate fi exprimată printr-o formulă matematică simplă și anume :

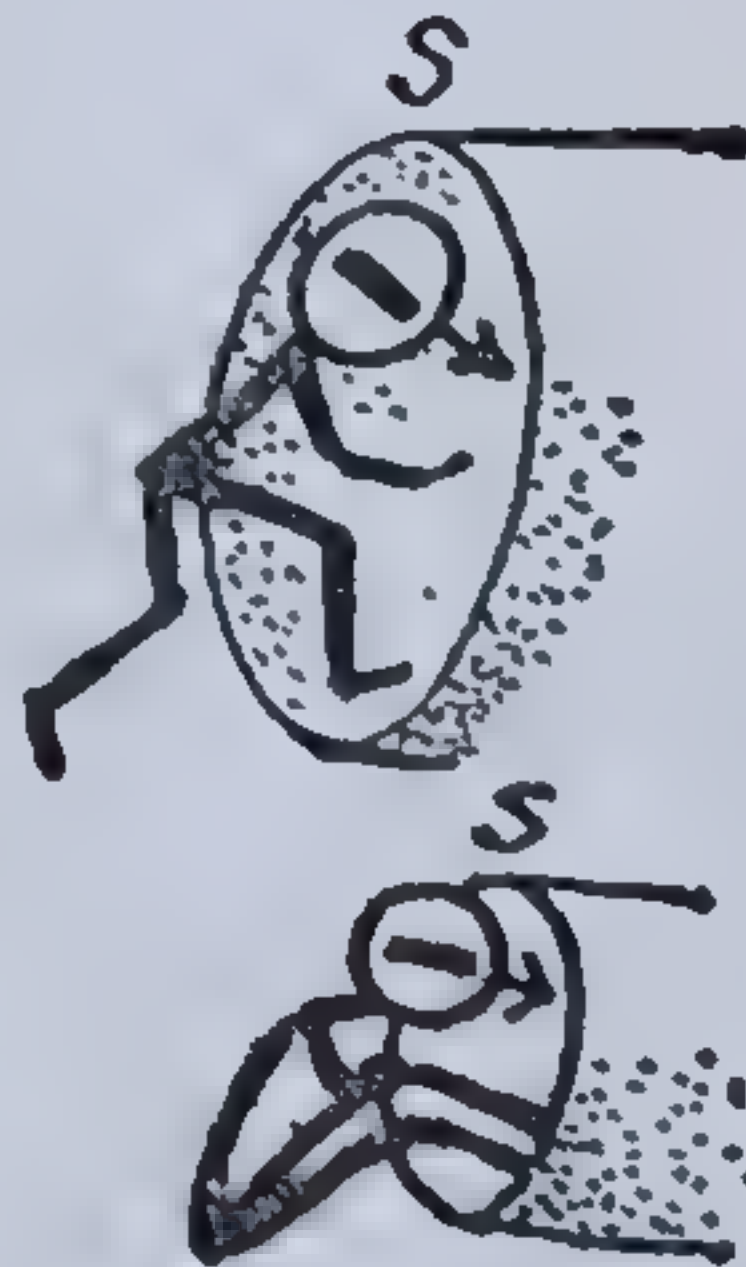
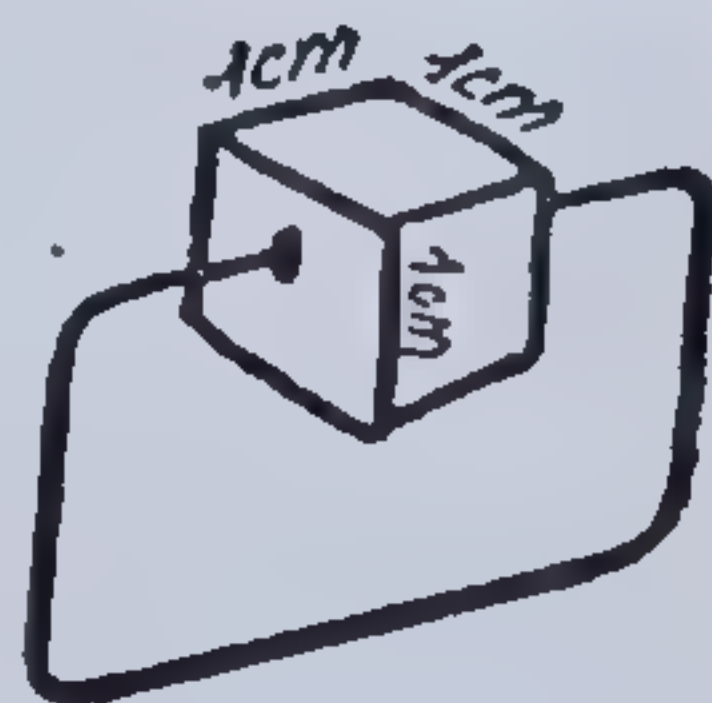
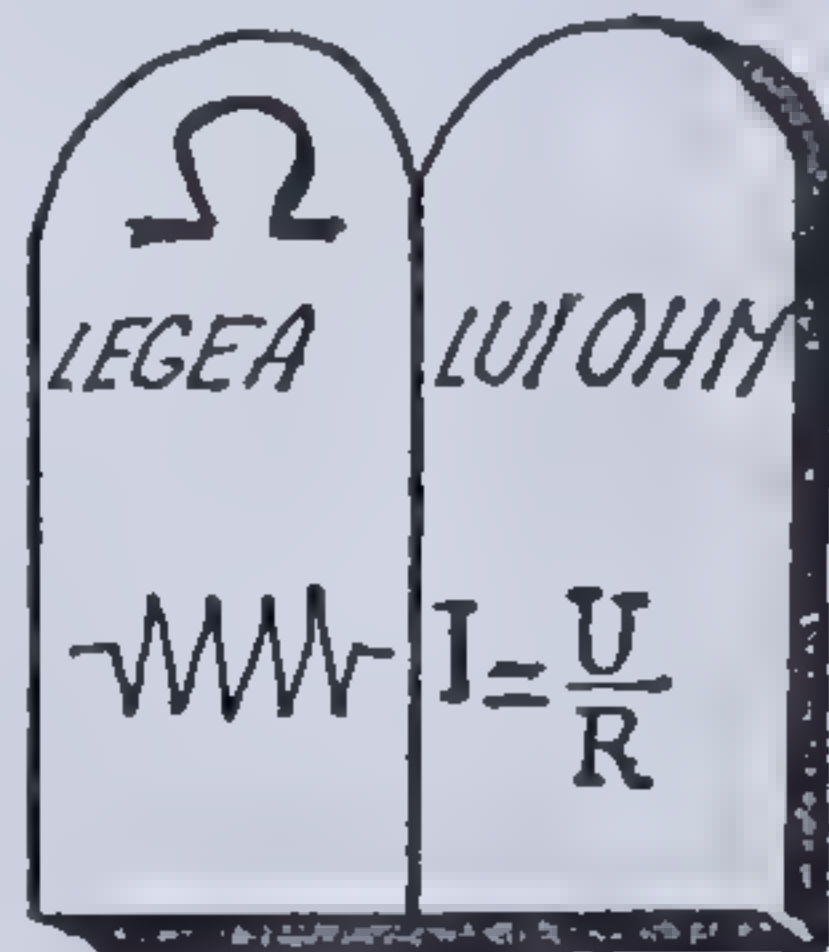
$$I = \frac{U}{R}$$

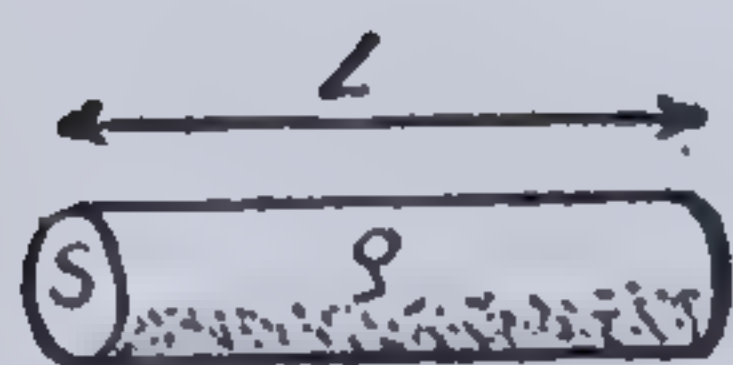
ceea ce vrea să exprime că intensitatea este egală cu tensiunea împărțită la rezistență. Dar aş mai vrea să știu de ce anume factori depinde valoarea rezistenței.

REZISTENȚĂ ȘI REZISTIVITATE

CURIOSUS : Ea depinde de natura și dimensiunile conductorului. Fiecare corp este caracterizat prin ceea ce se numește *rezistivitate* sau *rezistență specifică*. Aceasta este rezistența pe care o posedă un cub de 1 centimetru între două fețe opuse.

3 — A.B.C. de radio și televiziune





Cea mai mică rezistivitate o posedă argintul, fiind de 0,000 001 492 ohm/cm. Cuprul are o valoare puțin mai mare, rezistența sa specifică fiind 0,000 001 584 ohm/cm. Rezistivitatea fierului este însă de 6 ori superioară celei a argintului. Iar cea a plumbului de 15 ori mai mare.

Înțelegi deci, de ce anume se utilizează mai ales conductoare de cupru, acesta fiind de fapt mult mai ieftin decât argintul.

IGNOTUS : Îmi închipui că în corpurile izolante, rezistivitatea este mult mai mare.

CURIOSUS : Bineînțeles. Iar cea a aerului uscat este infinită. Rezistivitatea sticlei, a materialelor plastice și a cauciucului are valori foarte ridicate.

IGNOTUS : Conform celor discutate, rezistența unui conductor depinde nu numai de natura sa, deci de rezistivitatea sa, ci și de forma pe care o posedă. Mă înșel dacă îmi închipui că cu cât un conductor este mai lung cu atîta rezistența sa este mai mare ?

CURIOSUS : Nu dragă Ignotus și ai perfectă dreptate. Rezistența R este proporțională cu lungimea L a conductorului. Ea depinde deasemenea și de secțiunea S a acestuia. Ia ghicește relația matematică care se leagă ?

IGNOTUS : Un lucru știu precis, cu cât secțiunea este mai mare cu atîta electronii pot trece mai ușor. Deci R trebuie să fie invers proporțională cu secțiunea S .

CURIOSUS : Exact. Deci, dacă vom nota rezistivitatea materialului cu litera grecească ρ (ro), vei putea stabili o formulă care să permită calcularea rezistenței unui conductor de lungime L și secțiune S ?

IGNOTUS : Nu-i deloc greu. Este suficient să înmulțim rezistivitatea cu lungimea și produsul să-l împărțim la secțiune

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Dimensiunile lungimii și secțiunii trebuie exprimate în centimetri, respectiv centimetri pătrați pentru ca rezistența să fie exprimată în ohmi.

CURIOSUS : Foarte bine, Ignotus. Aplicînd această formulă vei găsi că un fir de cupru cu secțiunea de 1 mm^2 care înconjoară pămîntul în dreptul ecuatorului, lungime ce reprezintă 40 000 km, va posedea o rezistență de 60 000 Ω . Aproximativ, aceasta conduce la circa 60 Ω pe kilometru și numai 0,06 Ω/m .

IGNOTUS : Dacă cu un metru din firul acesta vom reuni cei doi poli ai pilei noastre cupru-zinc, care posedă o ten-



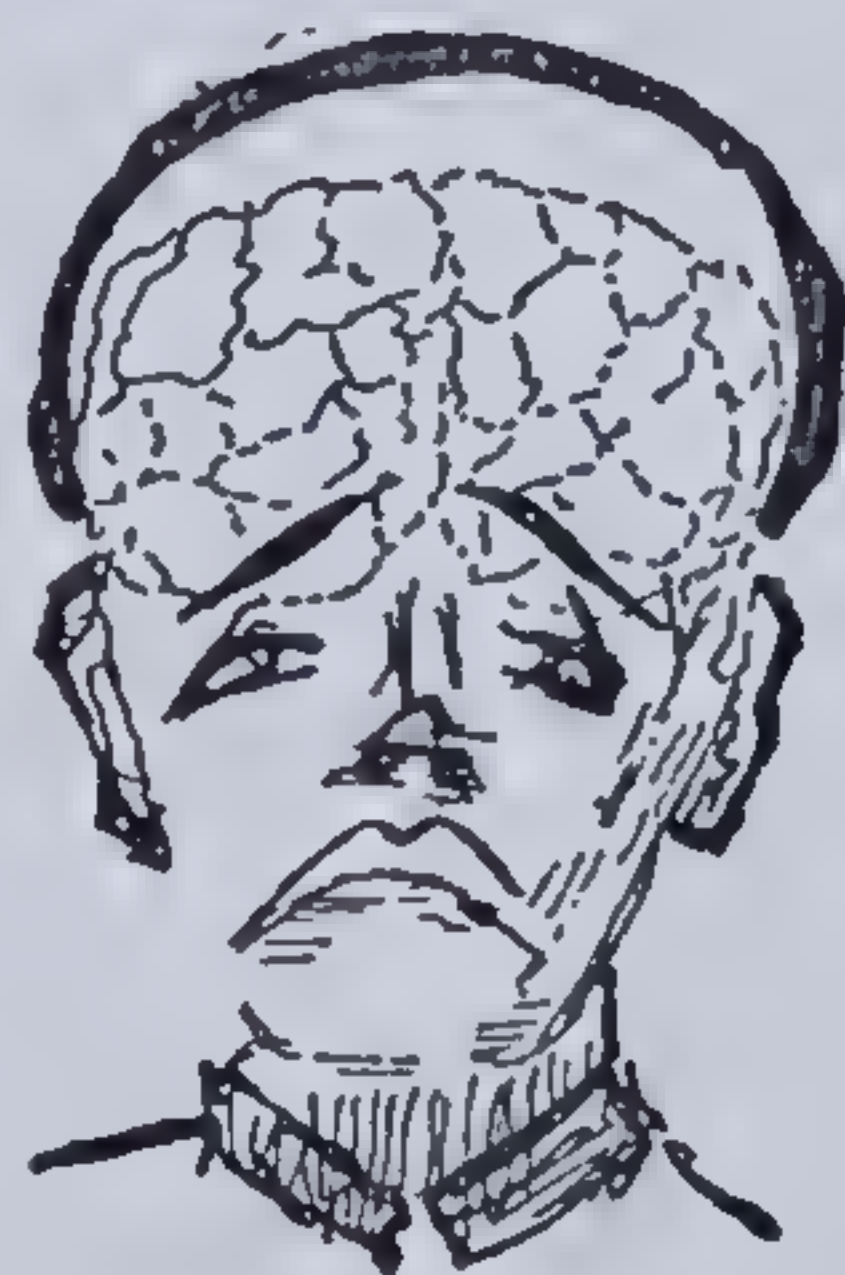
fir de cupru
 $S = 1 \text{ mm}^2$
 $R > 600.000 \Omega$

siune de 1,5 V, curentul, conform legii lui Ohm, va avea o intensitate de :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1,5}{0,06} = 25 \text{ amperi}$$

CURIOSUS : Este o intensitate mult prea ridicată pentru o sursă de electricitate ca aceea a unei pile. În acest caz se spune că practic, pila este *scurtcircuitată*. Un astfel de scurt circuit o poate distruge.

IGNOTUS : Sînt dezolat, dragă Curiosus. Simt cum rezistența propriului meu creier scade vertiginos din cauza cantității de cunoștințe noi cu care l-ai alimentat. Așa dar, pentru a evita un scurt circuit în propriul meu cap, îți propun să mai amînăm conversația noastră, pentru data viitoare.



PUTEREA ELECTRICĂ

Deoarece tot ne ocupăm de simboluri și unități să calculăm și *puterea electrică* disipată sau consumată într-o rezistență. Se numește putere, cantitatea de energie disipată într-o secundă. Ea este evident proporțională cu tensiunea și intensitatea curentului. Unitatea de putere, P , se numește *watt* avînd ca simbol litera W .

Puterea se calculează cu formula :

$$P = U \times I = 20 \times 0,4 = 8 \text{ W}$$

CĂDEREA DE TENSIUNE

Să luăm cazul unui circuit alimentat de o baterie de 40 V care alimentează un circuit compus din 3 rezistențe conectate în serie. Valoarea acestor rezistențe este de 10 ohmi, 30 ohmi și 40 ohmi. Suma acestor rezistențe este de 80 ohmi. Conform legii lui Ohm, intensitatea curentului care parcurge cele trei rezistențe este :

$$I = \frac{U}{R} = \frac{40}{80} = 0,5 \text{ A}$$

adică o jumătate de amper.

Traversînd prima rezistență, acest curent va determina între cele două extremități ale acesteia o cădere de tensiune egală cu $0,5 \times 10 = 5 \text{ V}$. Pe a doua rezistență, căderea de tensiune va fi $0,5 \times 30 = 15 \text{ V}$, iar pe a treia $0,5 \times 40 = 20 \text{ V}$. Suma acestor căderi de tensiune este :

$$5 + 15 + 20 = 40 \text{ V}$$

adică tocmai tensiunea bateriei.

Fiecare dintre ele poartă denumirea de *cădere de tensiune* pe o rezistență.

Sper dragii mei prieteni că aceste calcule nu v-au obosit prea mult și acum pentru a vă apropia de domeniul electronicii, vă sfătuiesc să începeți studiul electromagnetismului și al curentului alternativ.

Convorbirea a 3-a

Electromagnetism

În această parte, prietenii noștri vor examina problemele legate de magnetism, de câmpurile magnetice ce iau naștere datorită electricității și reciproc, a electricității produsă datorită câmpurilor magnetice. Și pentru a încheia, toate noțiunile menționate mai sus vor permite înțelegerea ușoară a funcționării dinamului, dispozitiv ce generează curentul alternativ.

ATRACTIE ȘI RESPINGERE

CURIOSUS : Ca să urmez întocmai sfaturile unchiului meu, am adus cu mine o busolă și doi magneti : unul este o simplă bară dreaptă, cel de al doilea are forma unei potcoave.

IGNOTUS : Magnetii atrag fierul, dar atrag în aceeași măsură și atenția mea...

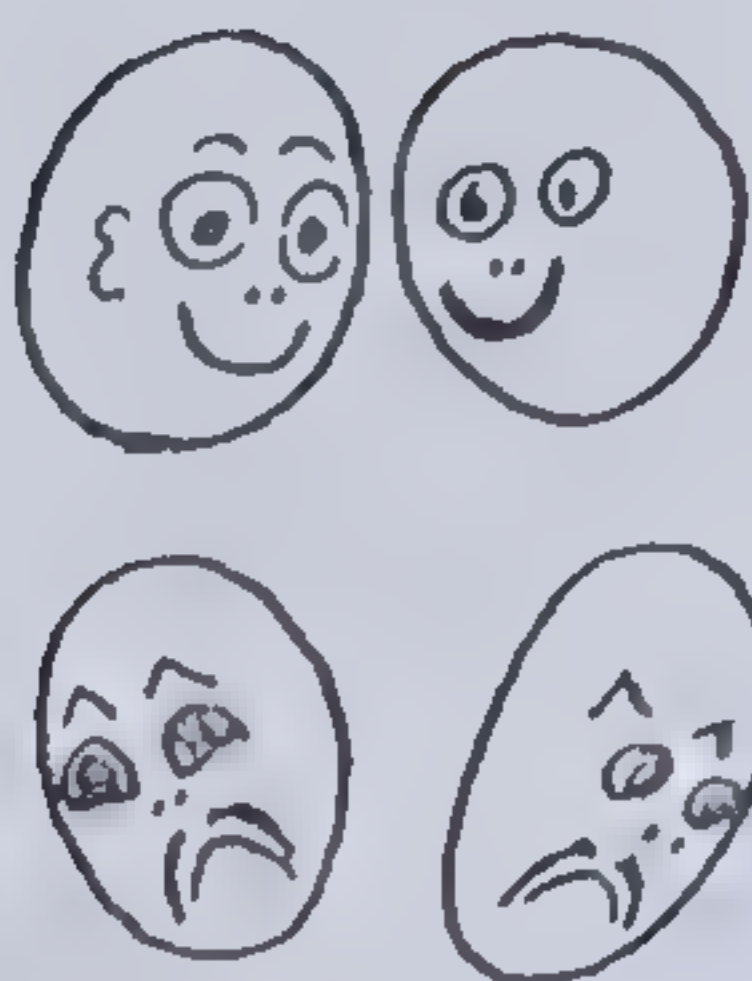
CURIOSUS : Dat fiind că așa stau lucrurile, ai putea să-mi spui care este poziția spre care se orientează micul magnet al busolei ?

IGNOTUS : Bineînțeles, vârful său de culoare roșie sau neagră este îndreptat spre polul Nord al pământului.

CURIOSUS : Aproape exact. De fapt, polul magnetic al planetei noastre nu coincide cu polul ei geografic, deviind puțin de la acesta. În orice caz, vârful roșu al busolei poartă numele de pol nord. Uită-te, acum îl apropii de una din extremitățile magnetului în formă de bară dreaptă.

IGNOTUS : Văd că acul busolei s-a învîrtit și că acum polul sud al acului este atras de magnet. Cred, scumpul meu prieten că nu mă crezi chiar un analfabet ? Știu foarte bine că poli de nume opuse se atrag, iar cei de același fel se resping. În

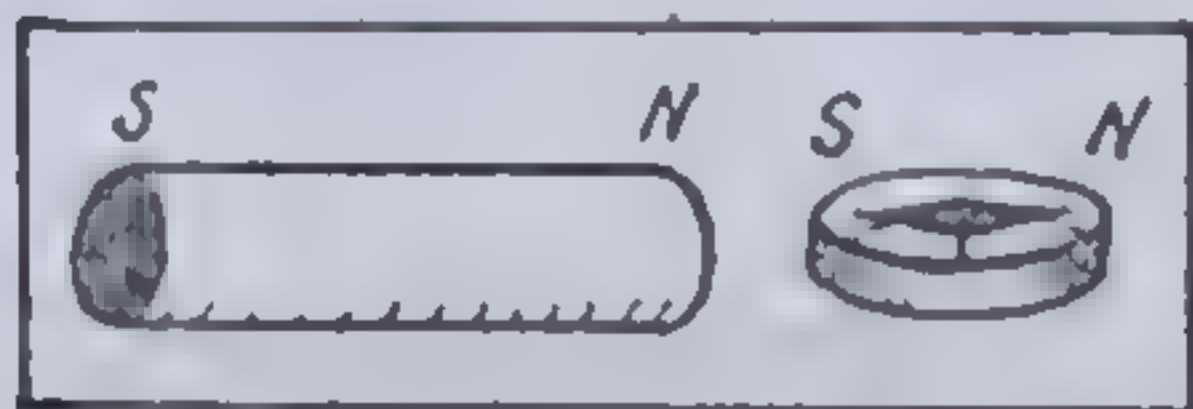




cazul nostru busola se găsește în fața polului nord al magnetului.

CURIOSUS : Exact. Cîmpurile magnetice se comportă la fel ca și cîmpurile electrice în care sarcinile de aceeași polaritate se resping iar cele de polarități diferite se atrag (cazul protonilor și al electronilor).

IGNOTUS : Ceea ce mi se pare foarte curios în toate acestea, este că noi oamenii nu putem percepe direct nici cîmpurile magnetice și nici cele electrice.



Polul nord N al barei magnetice atrage polul sud S al magnetului busolei.

CURIOSUS : Nu te plînge, Ignotus. Norocul nostru este tocmai că nu le percepem. În cazul în care organismele noastre ar fi fost sensibile și le-ar fi perceput, corpul nostru ar fi simțit toate undele electromagnetice emise de furtuni și pe deasupra și pe cele ale emițătoarelor de radio și televiziune.

PLIMBARE PE CÎMPURI

IGNOTUS : Recunosc că ar fi destul de neplăcut. Dar să lăsăm acest aspect și să-mi spui te rog cum putem determina direcția unui cîmp magnetic ?

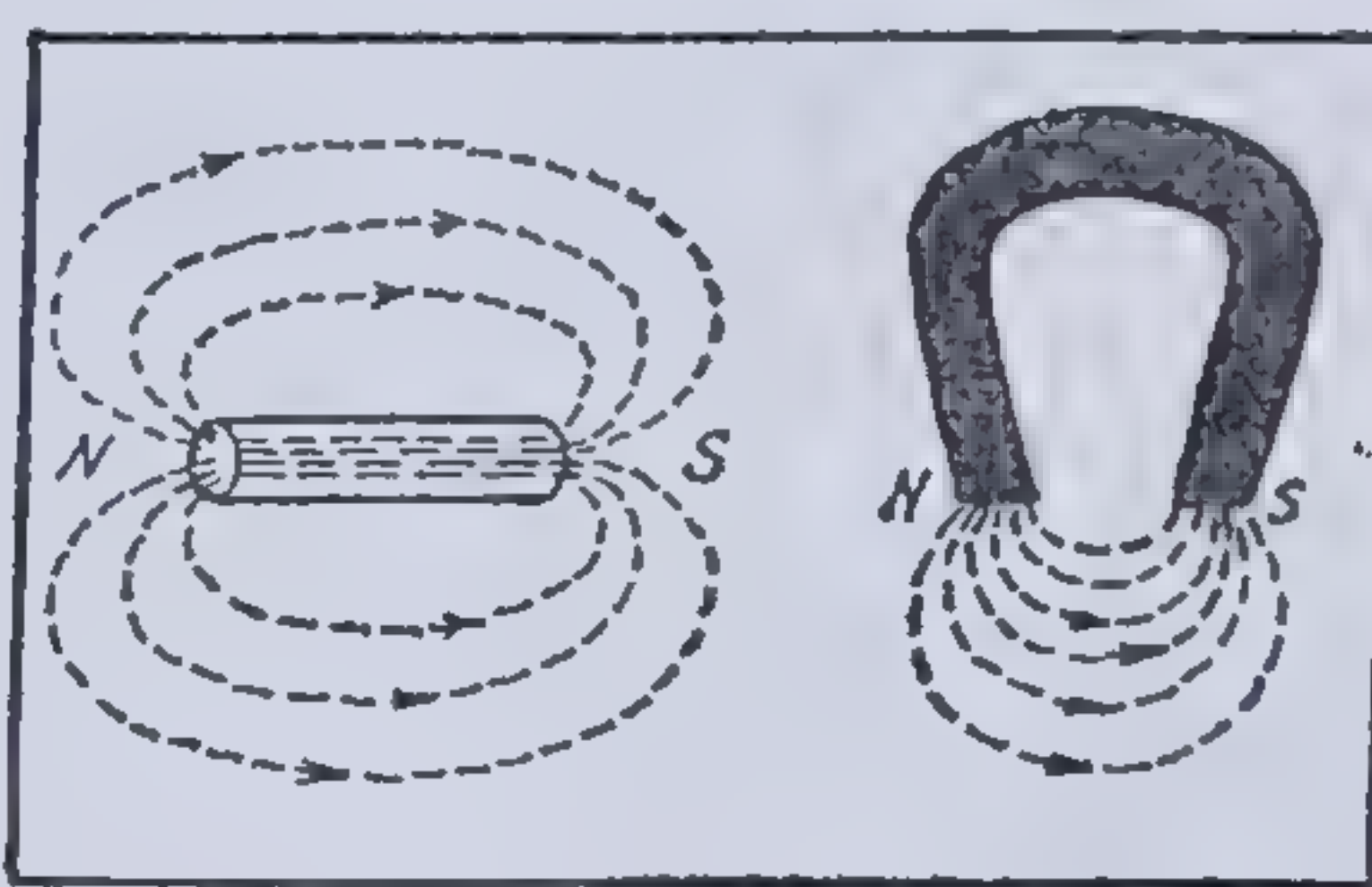
CURIOSUS : Foarte simplu. Vom deplasa într-un cîmp magnetic o busolă și vom nota în fiecare punct direcția pe care o indică acul magnetic. Astfel vom putea trasa, ceea ce numim, liniile de forță ale cîmpului. Vei vedea că pentru fiecare din magnetii noștri, direcția lor este orientată de la polul nord spre polul sud.

IGNOTUS : Crezi că spun o prostie dacă fac o analogie între magnet și circuitul electric în care curentul de electroni circulă în exteriorul pilei de la polul negativ spre cel pozitiv, iar în interiorul acesteia, de la pozitiv la negativ ? Îmi închipui că în interiorul magnetului liniile de forță se îndreaptă de la polul sud la polul nord, iar în exterior de la polul nord la cel sud, închizîndu-și astfel traiectoria.

CURIOSUS : Felicitări, Ignotus. Analogia pe care ai făcut-o între magnetism și electricitate corespunde într-adevăr realității fenomenelor fizice descrise.



În câmpurile magnetice, liniile de forță (desenate punctat) se îndreaptă de la polul nord spre polul sud.



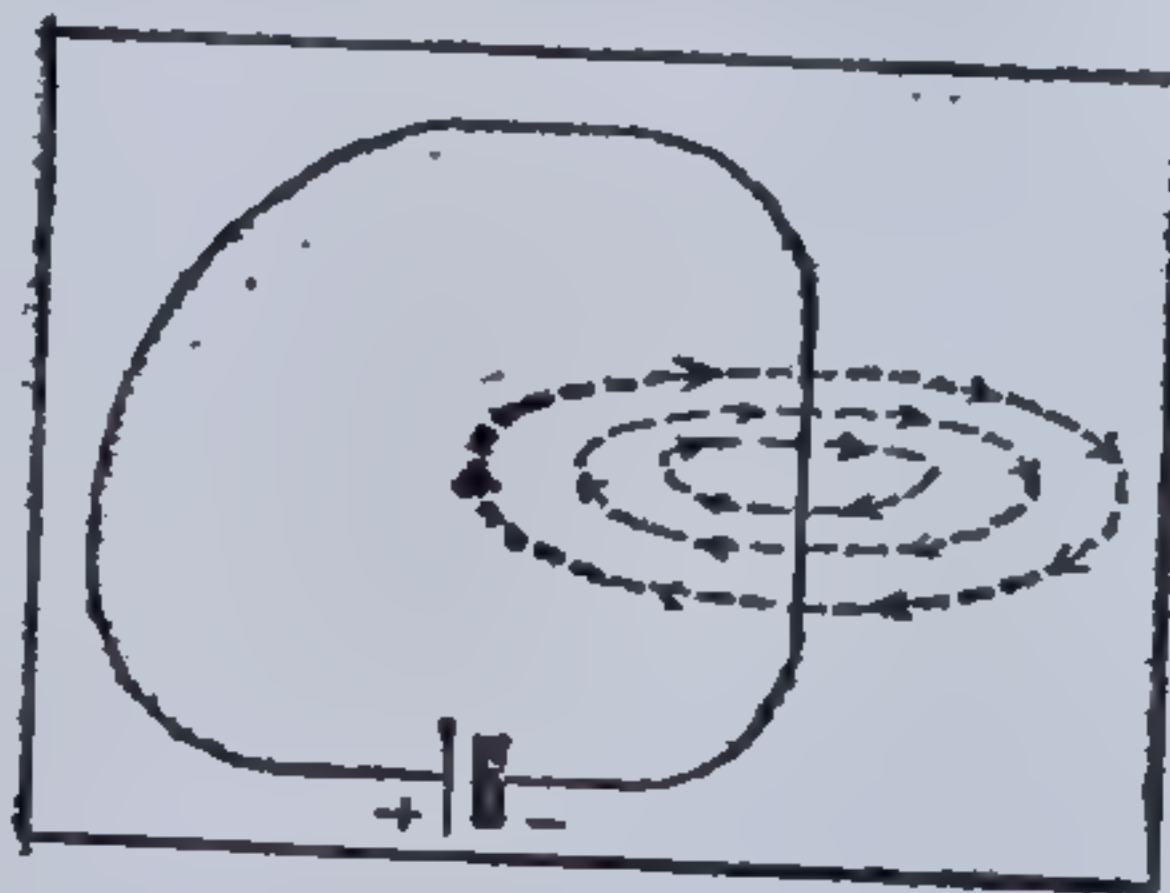
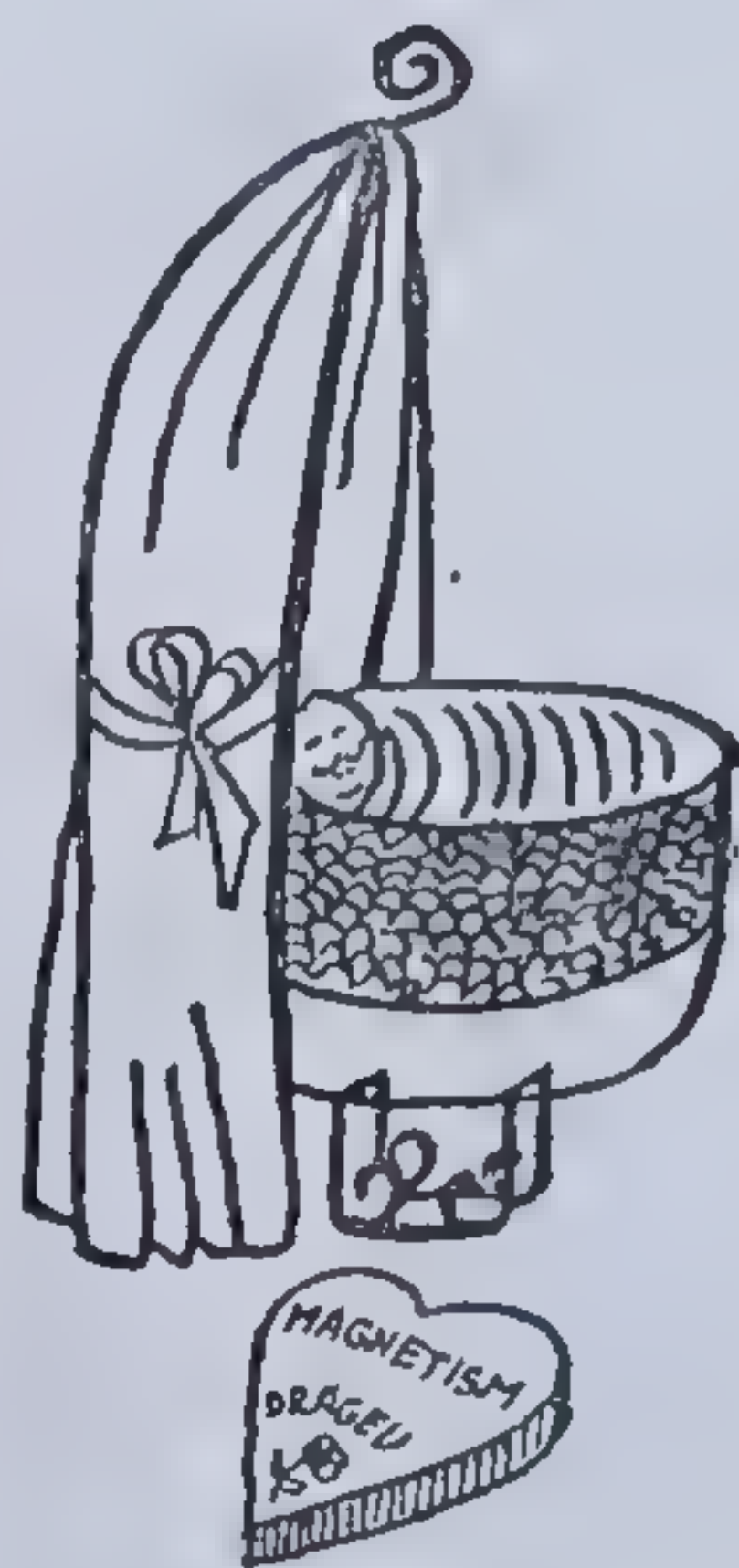
Înrudirea lor este cu atât mai strînsă cu cît forțele lor de atracție și de respingere, se supun unor legi matematice asemănătoare : în ambele cazuri, ele sînt proporționale cu cantitatea de electricitate sau magnetism și invers proporționale cu pătratul distanței.

IGNOTUS : Este de fapt și cazul forțelor de gravitație. Cu această ocazie constat cît este de mare unitatea legilor naturii !

NAȘTEREA MAGNETISMULUI

CURIOSUS : Am să-ți arăt acum că între electricitate și magnetism există o legătură și mai strînsă. Să luăm o pilă și să conectăm la polii ei un fir de rezistivitate destul de mare pentru a nu provoca un scurt circuit, dar care în schimb să permită trecerea unui curent destul de intens, necesar experienței pe care o efectuăm.

Iată, încep să apropiu busola de partea verticală a conductorului. Să vedem ce se întîmplă ?



Datorită trecerii curentului electric, în jurul conductorului ia naștere un câmp magnetic.

IGNOTUS : Constat că busola s-a mișcat ; ea nu mai este orientată spre polul nord. Pe măsură ce o deplasezi în jurul conductorului, ea se rotește. Am impresia că magnetul busolei este orientat mereu în sensul unui cerc care are ca centru conductorul.



CURIOSUS : Lucrurile stau chiar așa cum spui. Și aceasta demonstrează că în jurul conductorului parcurs de curent ia naștere un câmp magnetic ale cărui linii de forță formează niște cercuri concentrice, centrul lor fiind chiar conductorul.

IGNOTUS : Care este direcția acestor linii de forță ?

CURIOSUS : Marele pionier al electricității, savantul francez André Marie Ampère a găsit mijlocul foarte simplu pentru a determina direcția liniilor de forță, funcție de sensul curentului (sensul convențional al acestuia adică de la pozitiv la negativ).

Dacă am lua un tirbușon și i-am plasa vârful în sensul curentului, învîrtindu-l în sensul avansării pe direcția curentului, rotația sa corespunde direcției liniilor de forță ale câmpului magnetic : sensul de rotație al tirbușonului corespunde direcției acestora.

SOLENOID. ELECTROMAGNET

IGNOTUS : Presupun că forța acestui câmp depinde de intensitatea curentului care-i dă naștere.

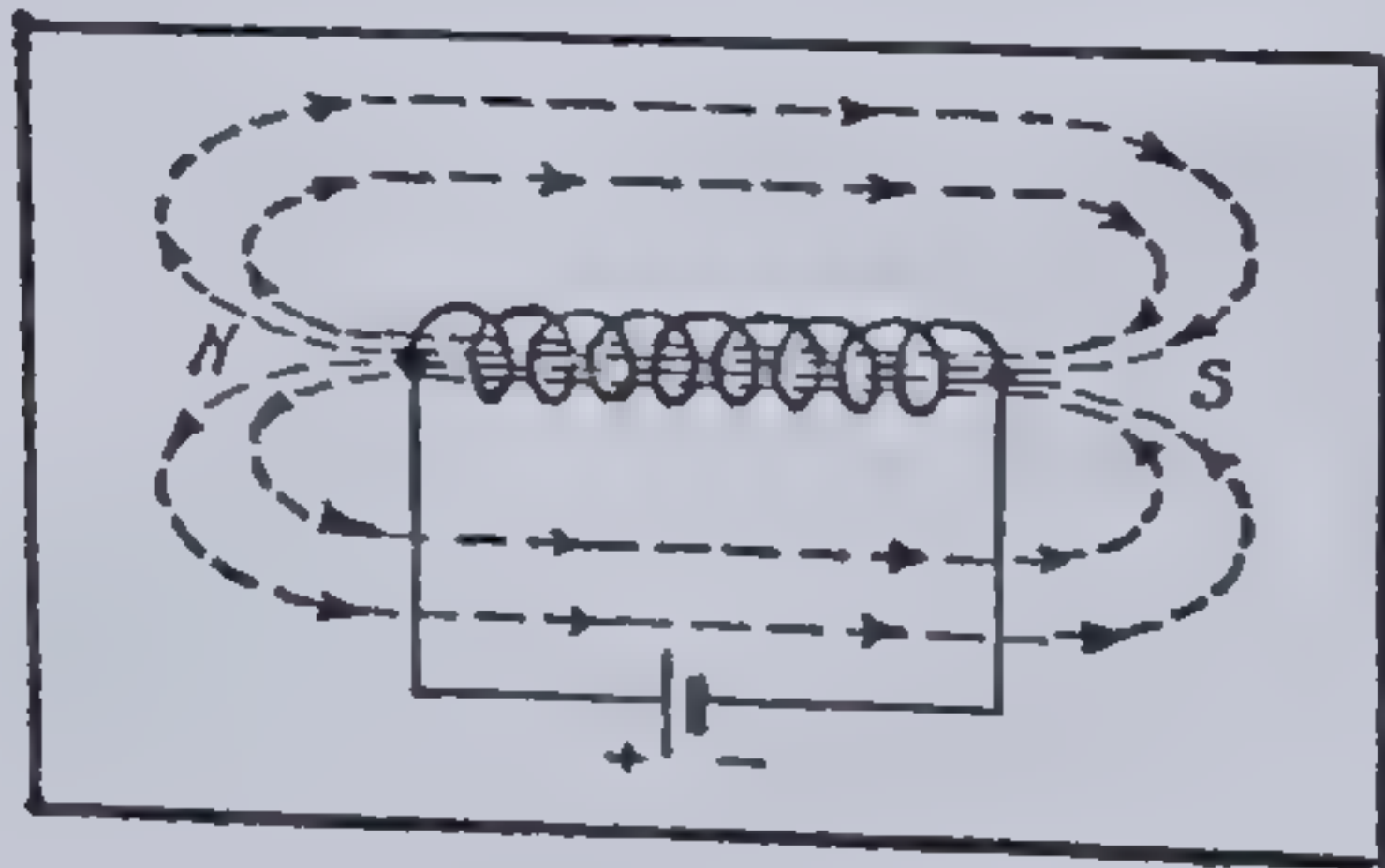
CURIOSUS : Nu te înșeli. Astfel, pentru a crește forța câmpului magnetic, fără însă a mări în același timp intensitatea curentului care-i dă naștere, am să pun în paralel mai multe porțiuni ale firului conductor.

IGNOTUS : Nu prea văd cum poți realiza așa ceva.

CURIOSUS : Foarte simplu, voi da firului forma unei spirale cilindrice. Bobina astfel obținută poartă numele de solenoid.

Cîmpurile magnetice care iau naștere datorită fiecărei spire în parte se adună între ele, în așa fel încît cîmpul întregului ansamblu are aceeași formă...

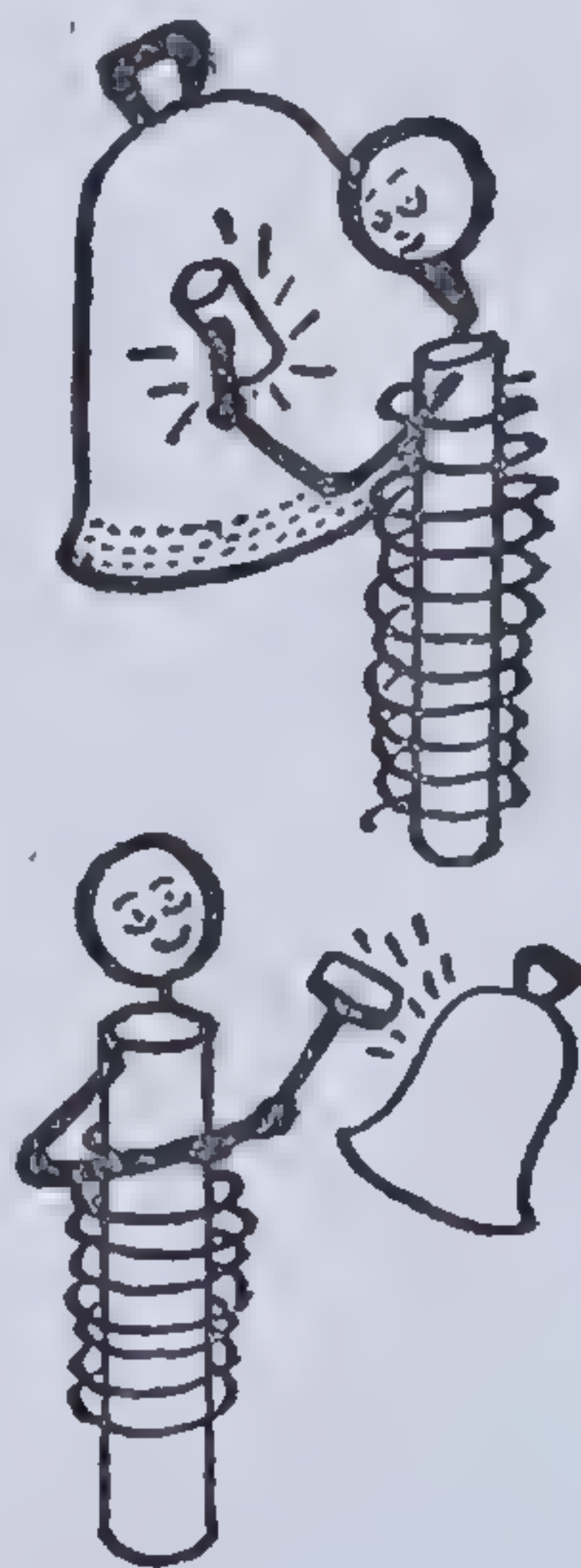
IGNOTUS :ca acelui obținut cu ajutorul unui magnet drept. De abia acum înțeleg ceea ce se numește un electromagnet. Am văzut lucrul acesta la unul din prietenii mei care



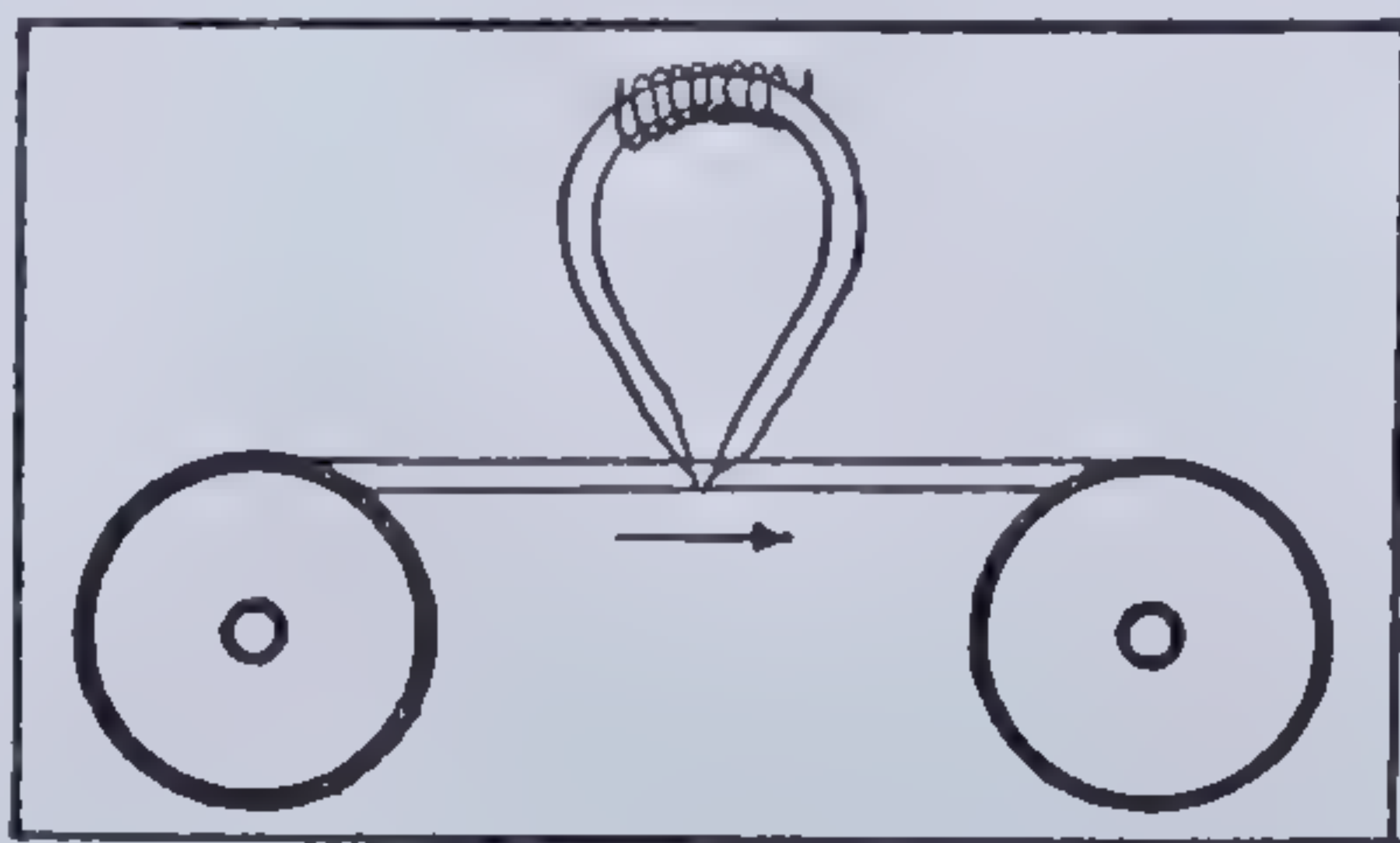
Cîmp magnetic produs de un curent ce trece prin solenoid (bobină).

se distra făcînd să sară o mică statueta de fier. Pentru a realiza aceasta, el înfășurase pe o bucată de fier, un fir conductor. De fiecare dată ce prin conductor trecea un curent electric, fierul atrăgea statueta.

CURIOSUS : Țin să-ți spun că electromagneții au foarte multe aplicații. Și ca să-ți dau unele din cele mai des întîlnite, iată soneria electrică care-i utilizează pentru a face să vibreze un mic ciocănel, care lovește clopoțelul. Chiar și magnetofonul, care în momentul de față, înregistrează convorbirea noastră, conține un electromagnet parcurs de curentul modulat de sunetele vocilor noastre ; cîmpul său magnetic acționează asupra benzii ce este acoperită cu un strat foarte subțire de pudră de fier, pudră magnetizată variabil, datorită electromagnetului. Nu este însă momentul să-ți explic funcționarea magnetofonului.



La magnetofon, banda trece sub polii electromagnetului. Acesta este magnetizat de către curenții modulați produși de sunetele ce urmează a fi înregistrate.



OBȚINEREA CURENTULUI ELECTRIC

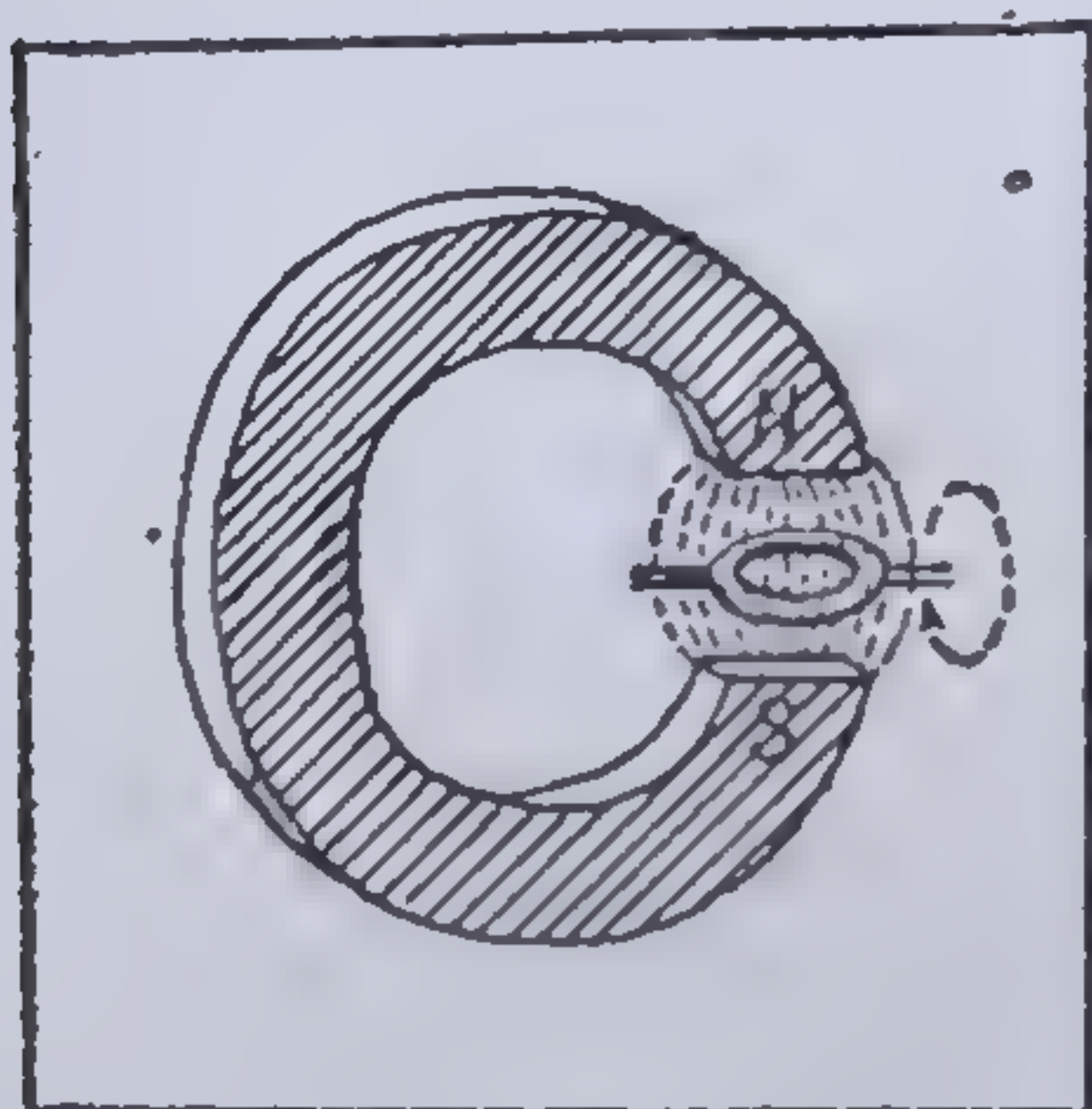
IGNOTUS : Există ceva ce mă preocupă. Unchiul tău mi-a spus că majoritatea fenomenelor fizice sînt reversibile. Pe de altă parte tu mi-ai explicat foarte clar modul în care curentul electric dă naștere unui cîmp magnetic. Te întreb acum dacă și inversul acestui fenomen este posibil ?

CURIOSUS : S-ar spune, dragă Ignotus că între noi doi există telepatie... Chiar acum mă gîndeam cum aș putea să-ți explic modul în care magneții și în general cîmpurile magnetice, dau naștere curenților electrici.

IGNOTUS : Presupun că dacă un conductor se găsește într-un cîmp magnetic, acest fapt va genera un curent.

CURIOSUS : Nu, deoarece cîmpul magnetic prin el însuși nu reprezintă o sursă de energie. Dar în cazul în care un conductor se deplasează într-un cîmp magnetic, tăind prin această deplasare liniile de forță, deplasarea aceasta necesită o oare-

care cheltuială de energie mecanică, care se transformă în curent, în cazul în care conductorul respectiv face parte dintr-un circuit electric închis.



Prin rotirea unei spire conductoare într-un câmp magnetic, în aceasta ia naștere curent electric de inducție.

Aici este vorba de fenomenul numit *inducție* electromagnetică. Intensitatea curentului indus prin acest fenomen depinde de forța câmpului magnetic și de viteza de deplasare a conductorului.

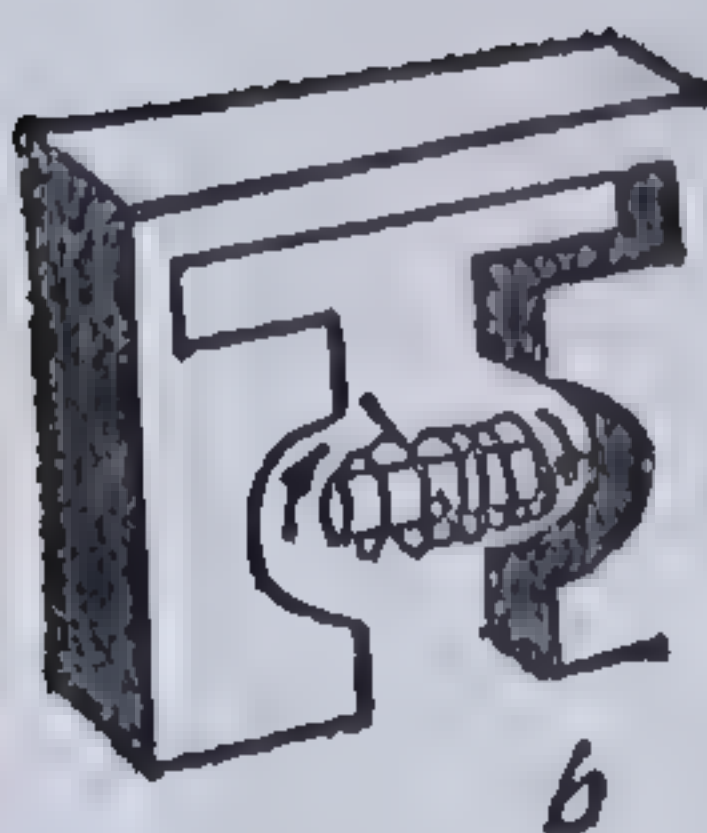
IGNOTUS : Deci și în acest caz ne găsim în prezența unui fenomen reciproc. Câmpul magnetic inductor poate fi generat atât de un magnet permanent, cât și de un electromagnet. Dar te întreb : această inducție poate fi aplicată practic în scopul producerii energiei electrice ?

CURIOSUS : Bineînțeles ! Toate generatoarele rotative care produc energie electrică se bazează pe acest fenomen de inducție. Cel mai simplu mod de a o produce se va obține prin plasarea unei bobine care se poate roti între polii unui magnet. Rotirea bobinei se face cu ajutorul unei mașini cu aburi sau a unui motor cu explozie sau chiar printr-o ~~cădere~~ cădere de apă într-o turbină.

CURENT ALTERNATIV SAU CURENT CONTINUU

IGNOTUS : Dar toate acestea nu duc la nimic bun, deoarece pe o jumătate de rotație spirele vor tăia liniile de forță ale câmpului magnetic într-un sens, iar în cealaltă jumătate a rotației, liniile de forță vor fi tăiate în sens opus.

CURIOSUS : În așa fel încât curentul indus în bobină va fi *alternativ*. Pe durata unei jumătăți de rotație el va avea un

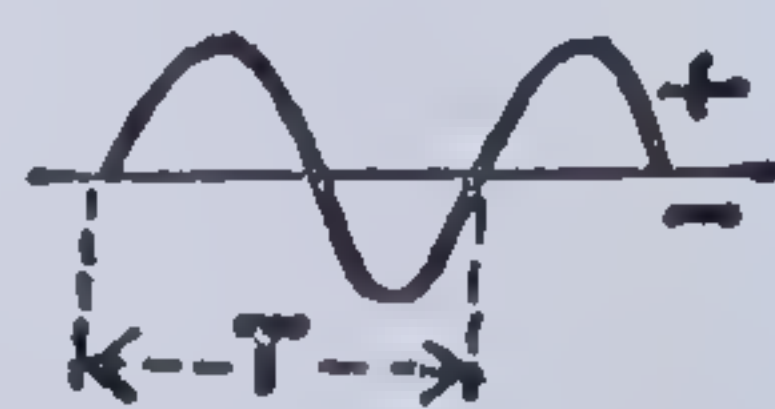
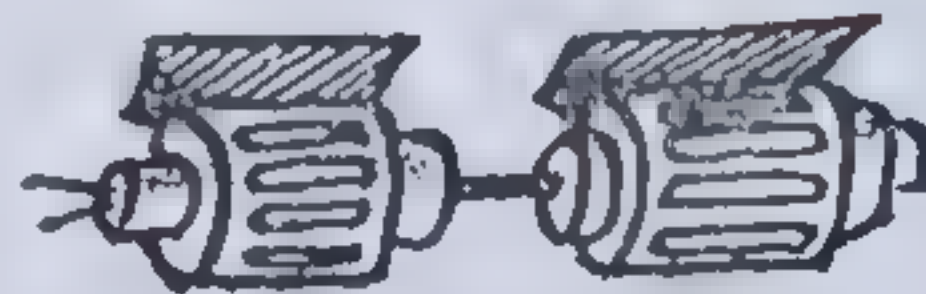


sens, iar pe durata celei de a doua jumătăți va avea sens contrar.

Durata fiecărei rotații constituie *perioada* curentului. Fiecare perioadă se compune din două *alternanțe*: una pozitivă, cealaltă negativă. Numărul de perioade dintr-o secundă este denumit *frecvența* curentului alternativ.

IGNOTUS : Cred că curentul rețelei care posedă o frecvență de 50 de perioade pe secundă se obține cu ajutorul unei turbine.

CURIOSUS : Da, Ignotus. O astfel de mașină se numește *alternator* sau *dinam*. Fără prea multe complicații, cu ajutorul unei astfel de mașini se poate obține și curent continuu. În acest scop trebuie ca tensiunea de ieșire să fie astfel captată, încît pe un conductor curentul să circule numai într-un sens, iar în al doilea conductor al circuitului electric închis, în sens contrar, astfel încît rețeaua exterioară alimentată de generator să fie alimentată cu un curent care să posede mereu același sens.



DINAM TRANSFORMAT ÎN MOTOR

IGNOTUS : Din nou mă gîndesc la principiul reciprocității fenomenelor fizice. Dacă în loc de a roti bobina, am injecta în ea curent alternativ, ea ar deveni un magnet ale cărui polarități se schimbă odată cu fiecare alternanță. Găsindu-se într-un cîmp magnetic permanent, ea va începe să se rotească. Iată modul în care un generator de curent se transformă în motor electric.

N-am spus cumva o prostie ?

CURIOSUS : Nicidecum. Sînt fericit să constat că ai înțeles perfect explicațiile mele și în consecință ai făcut niște deducții perfect exacte.

Dar n-aș vrea să abuzez în continuare de forțele tale intelectuale. La viitoarea noastră întîlnire îți propun să abordez bazele radioului deoarece acum avem unele cunoștințe fundamentale de electrotehnică.

Profesorul Radiol vorbește despre :

Inducție, inductanță sau reactanță inductivă

În toate domeniile electronicii, bobinele joacă un rol foarte important, fiind utilizate foarte frecvent și în cele mai diverse montaje. Ținând seama de importanța acestor elemente pasive, profesorul Radiol le descrie caracteristicile, explicând totodată funcționarea transformatoarelor cât și cea a diverselor aparate de măsură.

Nu, dragul meu Curiosus, nu sînt de loc de acord cu cele spuse de tine la sfîrșitul ultimei voastre convorbiri cu privire la studiul electricității. Crezi că ai parcurs toate noțiunile fundamentale de electrotehnică. Ei bine, nu cumva ai omis să explici fenomenul inducției și diversele sale aplicații ?

Lasă nu te necăji, le voi explica chiar eu și chiar acum.

DEDUCȚII ASUPRA INDUCȚIEI

Dragă Ignotus ai sesizat foarte ușor funcționarea unui dinam. În clipa în care o bobină începe să se rotească într-un cîmp magnetic, tăind liniile de forță ale acestuia, în bobină ia naștere un curent alternativ.

În scopul apariției acestuia nu este neapărat necesar să rotești bobina. Chiar în cazul în care ea este imobilă, curentul alternativ apare tot atît de bine prin realizarea variației cîmpului magnetic care o traversează.

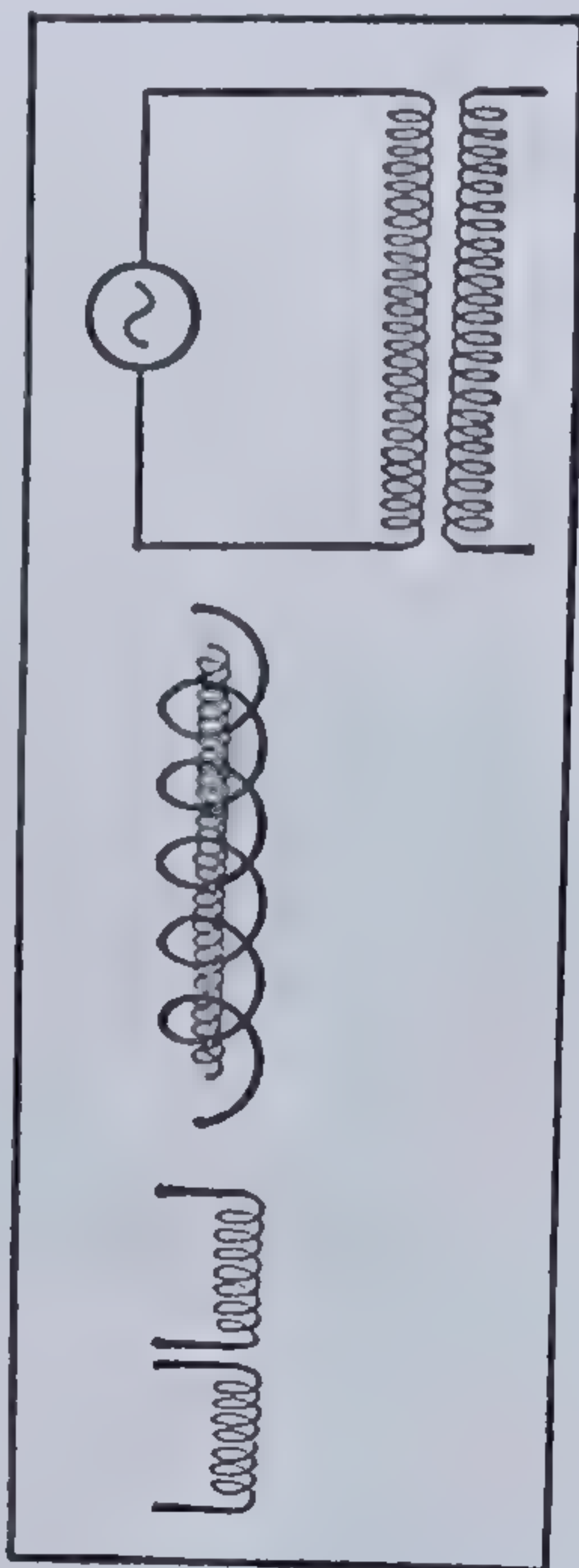
Dar se pune problema, în ce mod urmează să varieze acest cîmp, încît variația sa să fie completă adică să ducă practic la inversarea liniilor de forță ?

Cred că îți aud vocea, dragă Ignotus, și încă pentru a-mi da răspunsul corect. Da, pentru ca un cîmp magnetic să-și schimbe

Încontinuu sensul, există un mijloc foarte simplu : să-i dăm naștere sau să-l generăm cu ajutorul unei bobine parcursă de curent alternativ. Pentru fiecare alternanță a curentului, se inversează sensul liniilor cîmpului magnetic. Rezultatul este că în cea de a doua bobină situată în acest cîmp magnetic variabil ia naștere un curent alternativ.

Acest fenomen poartă numele de *inducție*.

În plus bobinajul în care ia naștere curentul indus, trebuie să fie plasat coaxial cu cel al bobinajului inductor. În general cele două înfășurări se bobinează una deasupra celeilalte. Ansamblul acestor două bobine se numește *transformator*.



O bobină parcursă de curent alternativ induce tot curent alternativ într-o altă bobină plasată în cîmpul său magnetic. În acest scop înfășurarea în care se induce curentul este realizată peste înfășurarea care induce, sau în imediata sa apropiere.

Bobinajul inductor se numește *primar*, iar cel în care ia naștere curentul indus se numește *secundarul* transformatorului.

Cînd se utilizează curenți de frecvență relativ joasă, transformatoarele se realizează cu miez de fier moale, miez ce mărește intensitatea cîmpului magnetic, deoarece liniile de forță



Simbolul unui transformator cu miez magnetic.

ale acestuia trec mult mai ușor prin fier decât prin aer. Introducerea miezului de fier realizează concentrarea liniilor magnetice.

RAPORTUL DE TRANSFORMARE

Tensiunea indusă în secundar depinde de tensiunea alternativă ce ia naștere între cele două capete ale înfășurării primare : cele două tensiuni sînt proporționale. În plus tensiunea secundarului mai este determinată și de raportul numărului de spire ale celor două înfășurări.

Dacă primarul și secundarul posedă același număr de spire, la capetele înfășurării secundare ia naștere o tensiune egală cu cea de pe înfășurarea primară. În general însă, tensiunea secundarului, U_2 , este egală cu produsul dintre tensiunea primarului U_1 și raportul numărului de spire ale secundarului și primarului :

$$U_2 = U_1 \frac{n_2}{n_1}$$

Mai simplu s-ar enunța astfel : tensiunile celor două înfășurări sînt proporționale cu numărul lor de spire :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

ACȚIUNE ASUPRA SA ÎNSĂȘI

Simt că în capul vostru ia naștere o întrebare : cărui fapt se datorează tensiunea din primar ?

Ei bine aci este vorba de o cădere de tensiune datorită nu unei rezistențe ohmice a înfășurării, care în general are o va-

loare foarte mică, ci a rezistenței sale inductive sau după cum mai este denumită, *inductanței* sale.

Această inductanță este efectul fenomenului de *auto-inducție* care apare în fiecare înfășurare sau bobină parcursă de curent alternativ. Să vedem despre ce este vorba.

V-am explicat mai sus felul în care curentul alternativ ce parcurge înfășurarea primară induce un alt curent, tot alternativ, în înfășurarea secundarului, prin generarea unui câmp magnetic variabil. Dar în spațiul în care există acest câmp magnetic variabil mai există un alt bobinaj : este chiar înfășurarea primarului însuși !

De aceea, aflați și nu fiți surprinși de faptul că această înfășurare primară induce curent alternativ nu numai în secundar, ci chiar și în primar, adică în propria sa înfășurare.

Tot ce v-am spus nu este nimic deosebit. Când noi înșine vorbim sau strigăm la altă persoană, ne auzim perfect.

Rezistența mare a bobinei se datorează acestui fenomen de auto-inducție deoarece alternanțele curentului alternativ indus, nu coincid cu alternanțele curentului inductor : curentul indus este decalat față de primul, sau după cum se mai spune este *defazat* față de acesta.

Valoarea sa este proporțională cu frecvența curentului și cu *coeficientul de autoinducție* al înfășurării. Această ultimă caracteristică depinde numai de geometria înfășurării : de numărul de spire, de diametrul lor și de dispunerea lor în spațiu. Cu cât numărul lor este mai mare și ele sînt mai strînse, cu atît cîmpul magnetic, pe care-l generează curentul, acționează mai puternic asupra înfășurării și prin urmare cu atît este mai mare valoarea coeficientului de autoinducție.

Coeficientul de autoinducție este proporțional cu patrutul numărului de spire. Dublați acest număr și veți vedea că coeficientul se mărește de patru ori.

Unitatea de măsură pentru coeficientul de autoinducție se numește henry, iar simbolul acestuia este H.

În consecință inductanța Z (exprimată în ohmi, deci ca și rezistența) este proporțională cu produsul dintre frecvența f și coeficientul de autoinducție, L . Formula ce exprimă această relație este :

$$Z = 2\pi fL$$

unde : $\pi = 3,14$, această constantă fiind după cum știți raportul dintre circumferință și diametrul său.

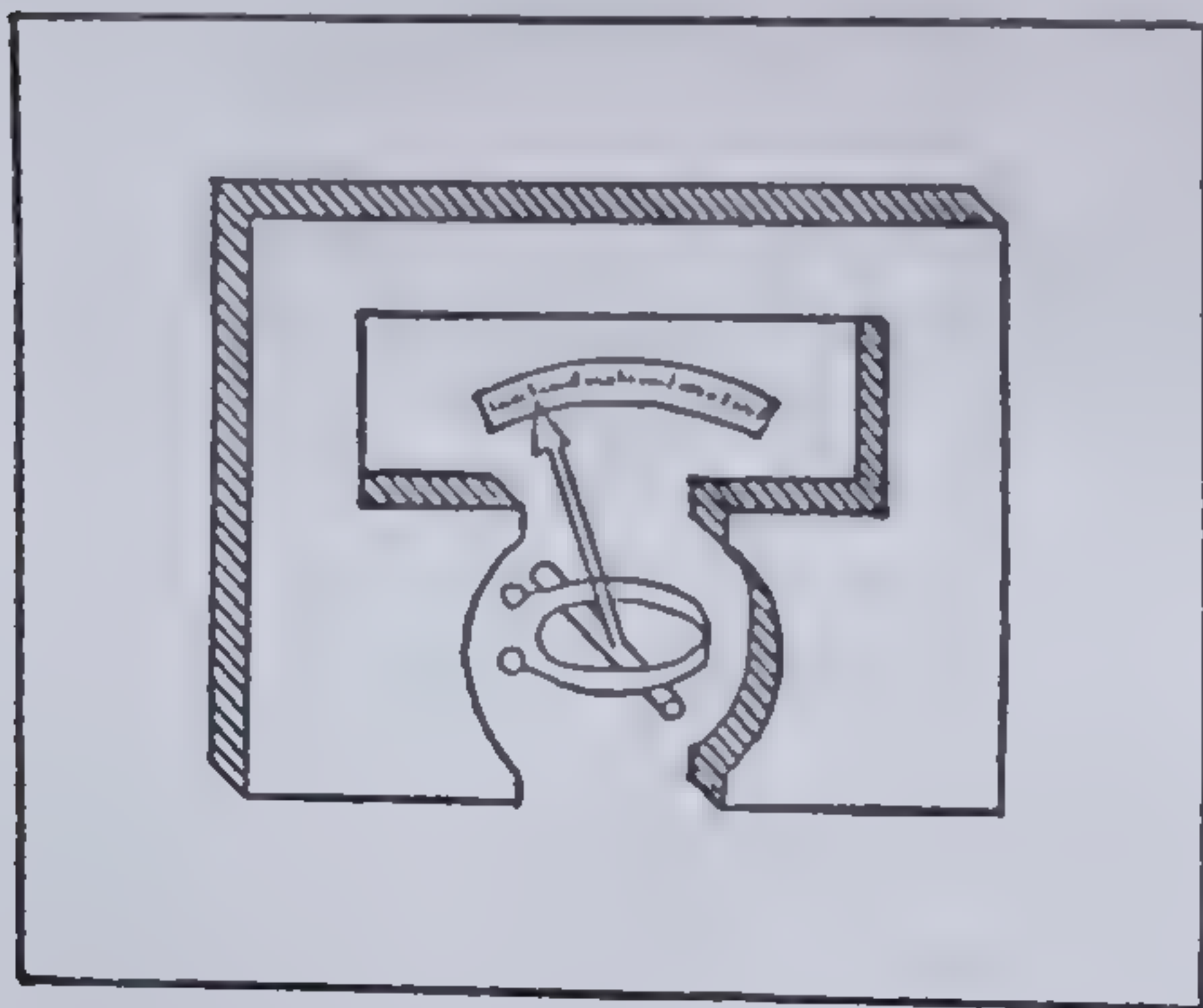
DIN CE SE COMPUNE UN GALVANOMETRU

Deoarece tot studiem diversele aspecte ale electrotehnicii, legate de altfel foarte îndeaproape de magnetism, voi reveni asupra aplicațiilor acestui ansamblu compus dintr-un magnet între polii căruia s-a introdus o bobină care se poate roti.

Am văzut că dacă rotim bobina în ea se generează un curent alternativ ; este rolul dinamului.

Invers, dacă bobina este parcursă de curent alternativ, ea va începe să se rotească. Acesta este modul de funcționare al motorului electric.

Să presupunem acum că bobina respectivă este suspendată de un fir elastic, fixată însă de suportul său în două puncte : unul în față, celălalt în spate. În aceste condiții bobina nu poate efectua rotații complete, deoarece această mișcare nu-i este permisă de firele elastice de care este suspendată. În consecință bobina nu mai este un motor.



Într-un galvanometru, bobina parcursă de curentul ce urmează a fi măsurat este plasată în câmpul unui electromagnet. Bobina se poate roti în jurul unei axe orizontale.

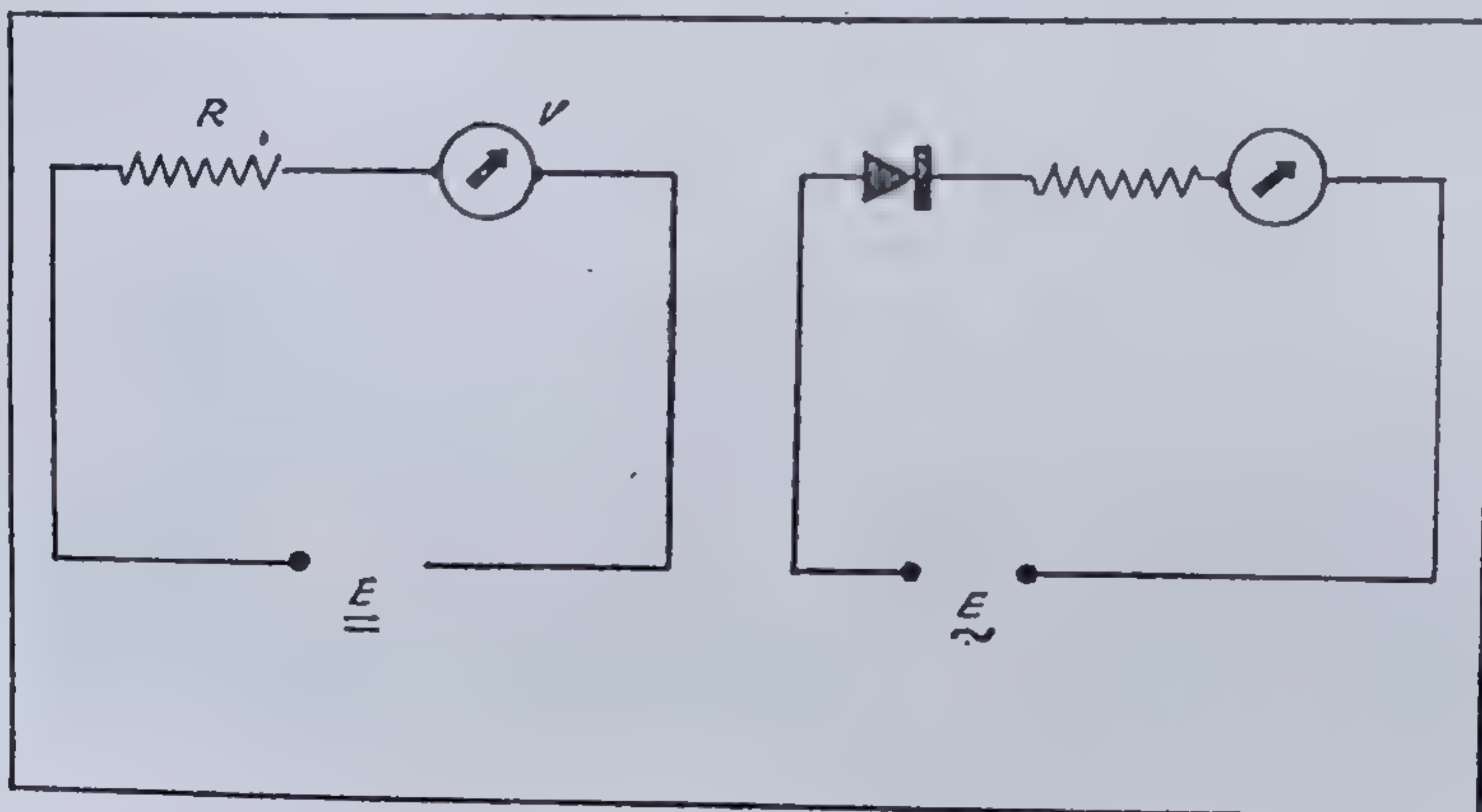
Să presupunem totuși că prin bobină va trece un curent continuu. Bobina se va magnetiza și va tinde să se rotească. Funcție de elasticitatea firelor de care este suspendată — lucru foarte important de altfel — și de intensitatea curentului care o parcurge, unghiul de rotație va fi mai mic sau mai mare.

Ei bine îmi închipui că cele descrise mai sus constituie un mijloc minunat pentru măsurarea intensității curentului. În acest scop pe axul bobinei se fixează un ac indicator, iar în spatele acestuia un cadran gradat. Am realizat astfel un galvanometru.

În cazul în care cadranul este gradat în amperi, aparatul se numește *ampermetru*. Pentru curenți de intensități foarte mici se utilizează *miliampermetrul*.

APARATE DE MĂSURĂ

Tot pe același principiu se realizează de altfel și aparatele pentru măsurarea tensiunii. În acest scop, în serie cu bobina se conectează o rezistență R . Conectând acest ansamblu între cele două puncte între care urmează să măsurăm tensiunea, prin galvanometrul nostru va trece un curent a cărui intensitate, conform legii lui Ohm, este egală cu raportul dintre tensiune și suma rezistențelor ohmice R și cea a bobinajului.



Schema unui voltmetru pentru măsurarea tensiunii continue (*stînga*).
Schema unui voltmetru, care datorită redresorului, poate măsura tensiuni alternative (*dreapta*).

În acest caz cadranul este etalonat direct în volți, mili-volți sau microvolți, în așa fel încît vom avea de a face cu un *voltmetru*, *milivoltmetru* sau respectiv *microvoltmetru*.

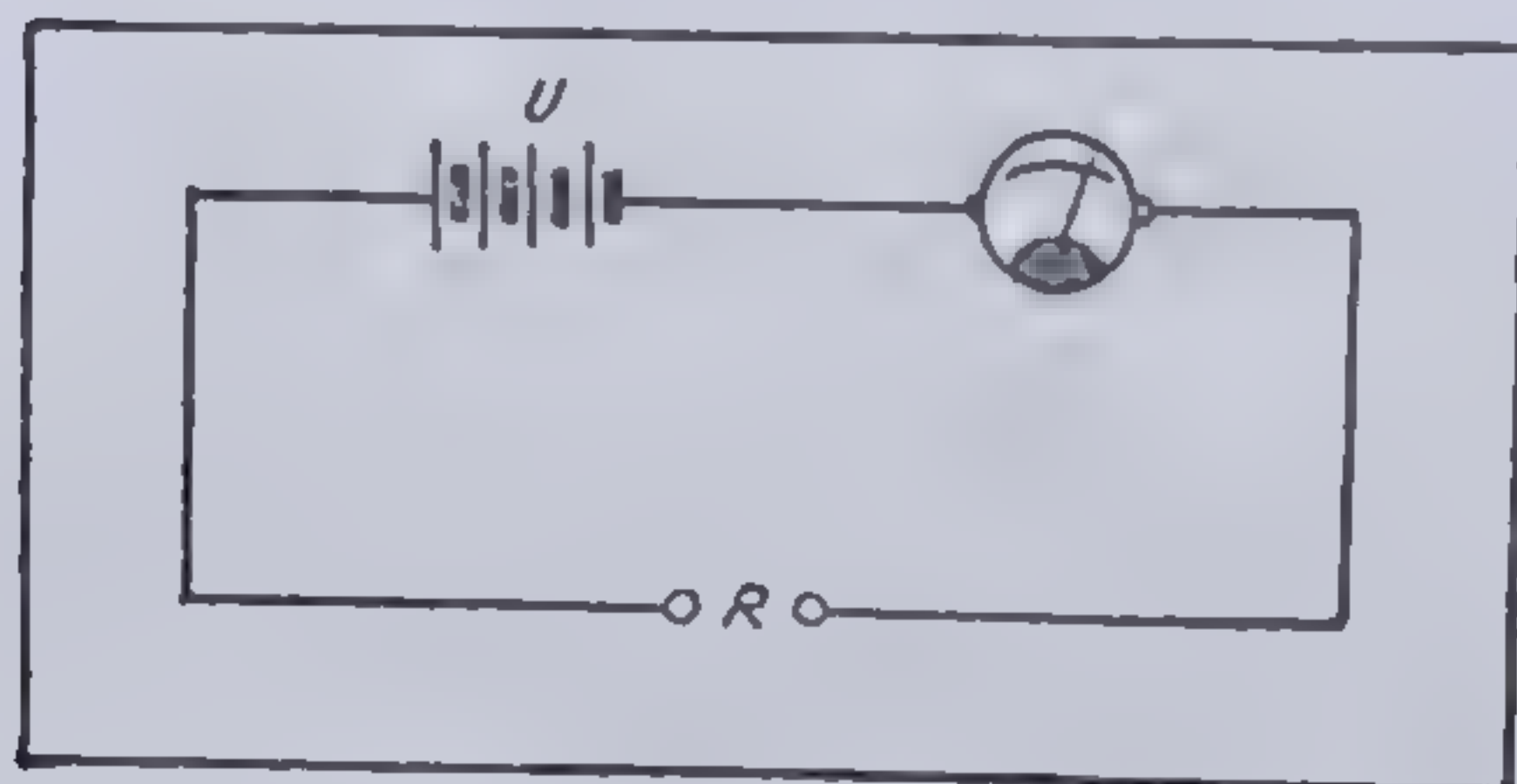
Galvanometrul permite deasemenea măsurarea curenților sau tensiunilor alternative. În acest scop, el conține un redresor, care redresează sau convertește curentul alternativ în curent continuu. Principiul redresorului îl voi explica însă cu altă ocazie.

Dar n-am terminat încă expunerea. Pînă acum v-am explicat modul în care se măsoară tensiunile și curenții. Dar,

dragă Ignotus, ai să te întrebi probabil, cum poate fi măsurată cea de a treia mărime pe care o conține legea lui Ohm și anume rezistența.

Nimic mai simplu. În acest caz galvanometrul trebuie să conțină și o baterie a cărei tensiune trebuie să fie constantă și cunoscută, conectată în serie cu bobina mobilă.

Conectînd acest ansamblu la o rezistență, prin bobina mobilă va trece un curent a cărui intensitate va fi invers proporțională cu rezistența măsurată. Cadranul galvanometrului poate fi etalonat direct în ohmi, realizîndu-se astfel un *ohmetru*.



Schema unui ohmetru, ce măsoară rezistența R .

Dar fără să măsoar nimic, simt totuși cum rezistența voastră la oboseală scade. Așa dar, voi încheia expunerea, cu toate că ași vrea să adaug faptul, că se utilizează multe aparate de măsură combinate, compuse din galvanometru ce poate fi conectat în serie sau în paralel cu diverse rezistențe (pentru ca intensitatea curentului să devieze mai mult sau mai puțin acul indicator) dintr-un redresor și deasemenea cu o baterie. Cu astfel de aparate se pot măsura diverse tensiuni, curenți și rezistențe ce posedă cele mai variate ordine de mărime.

Convorbirea a 4-a

Capacitate și reactanță capacitivă

În acest capitol prietenii noștri studiază comportarea cu totul deosebită a condensatoarelor conectate fie la surse de tensiune continuă, fie la surse de tensiune alternativă. Ei examinează și condensatoarele fixe, ajustabile și variabile. În încheiere, ei stabilesc formula reactanței capacitive funcție de valoarea capacității și de frecvență.

SARCINA UNUI CONDUCTOR

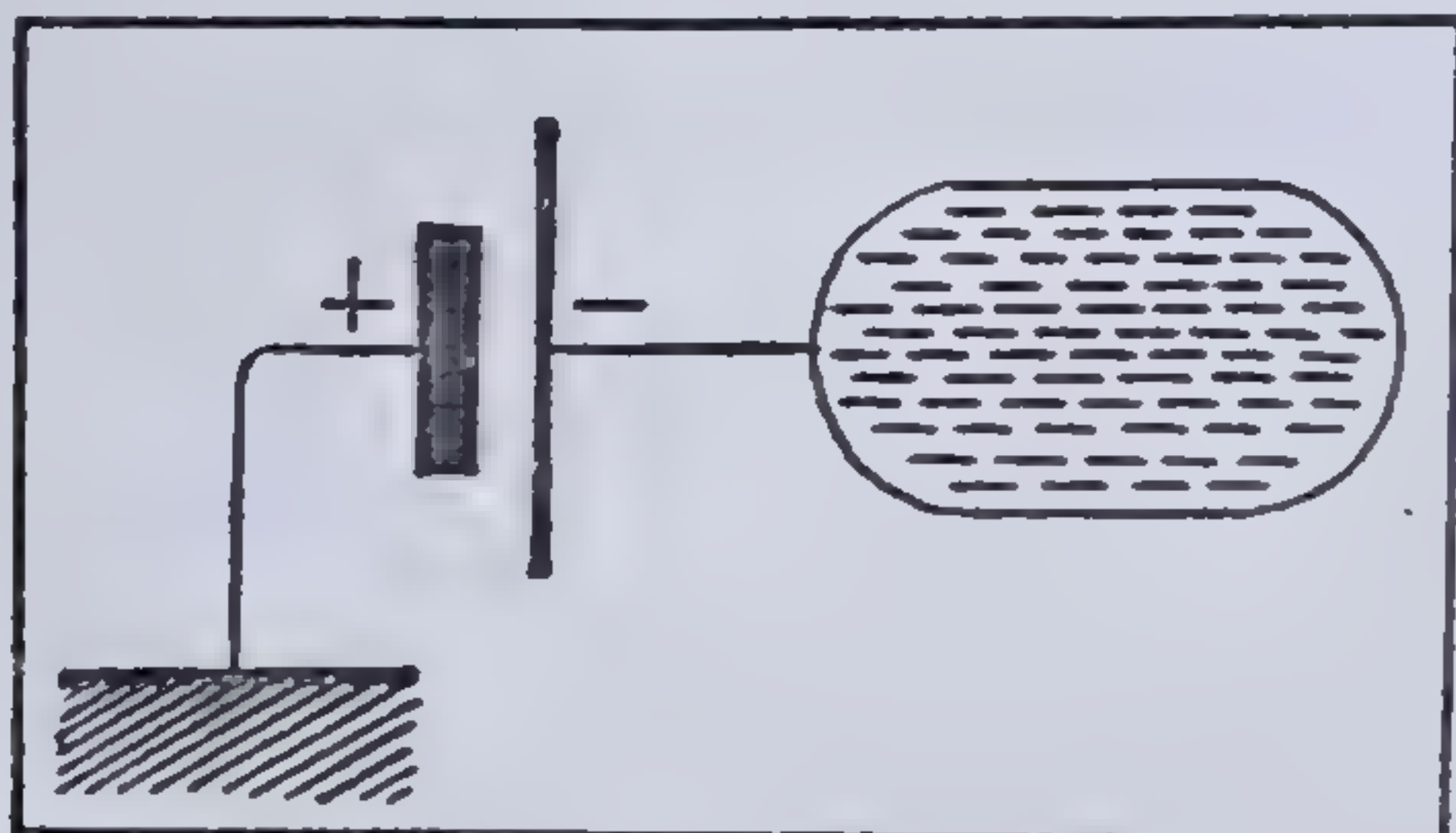
CURIOSUS : În ultima noastră convorbire am discutat despre magnetism. Unchiul meu Radiol a mai vorbit de asemenea despre caracteristicile și aplicațiile acestuia. Să revenim acum la studiul cîmpurilor electrice.

IGNOTUS : Îmi închipui că de data aceasta va fi mult mai ușor dată fiind analogia care există între electricitate și magnetism. În aceste două domenii ale fizicii este valabilă aceea lege prin care sarcinile de același fel se resping, iar cele de sens contrar se atrag. Forțele de atracție sau respingere, astfel create, sînt în ambele cazuri invers proporționale cu distanța.

CURIOSUS : Memoria ta excelentă îmi ușurează foarte mult expunerea pe care mi-am propus să ți-o fac cu privire la *capacitate*. Capacitatea se numește însușirea unui conductor de a conține sau a acumula o sarcină electrică pozitivă sau negativă.

Poți să deduci ușor că această sarcină depinde esențial de forma și dimensiunile conductorului. Valoarea capacității se definește prin raportul dintre sarcina electrică și potențialul care a generat-o. Bineînțeles că cu cît potențialul va fi mai mare, cu atît el va încărca mai mult conductorul dat.



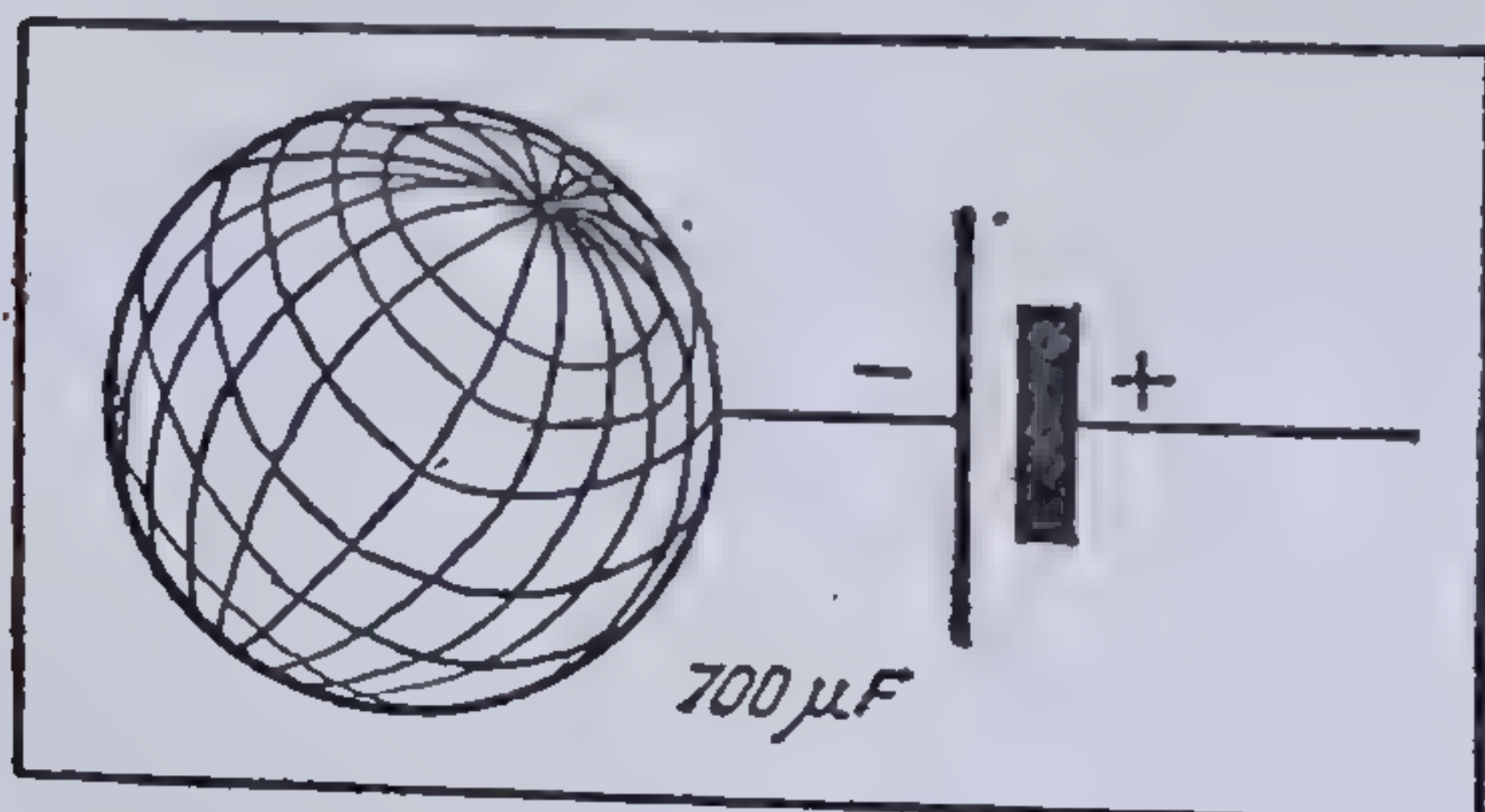


Capacitatea unui conductor îi permite acestuia stocarea sarcinilor negative.

IGNOTUS : Care este unitatea de capacitate ?

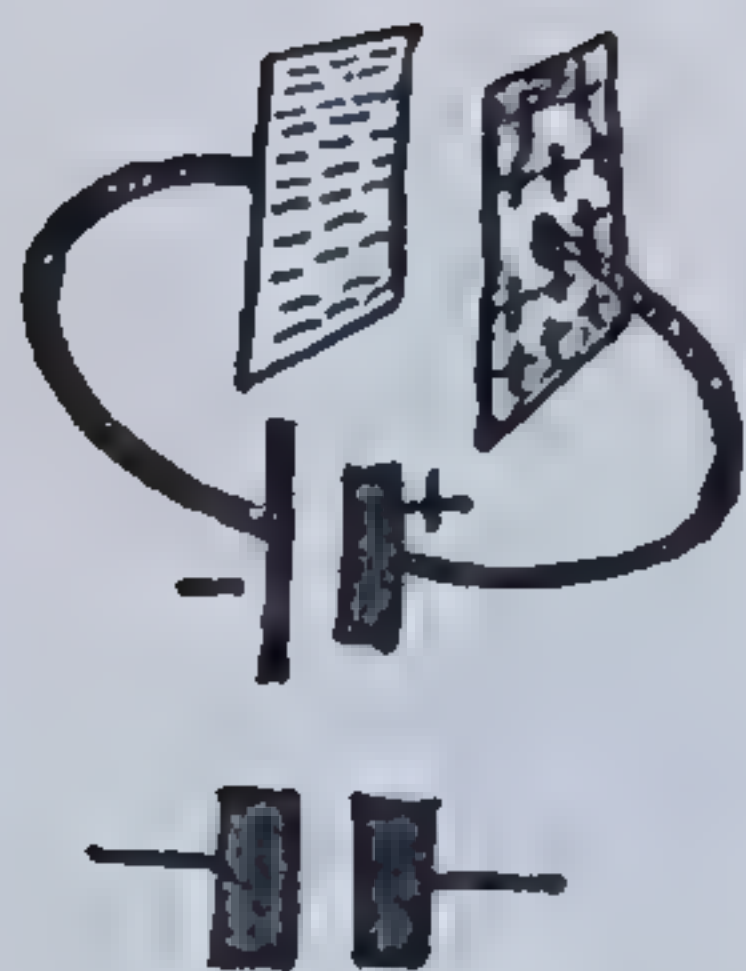
CURIOSUS : Unitatea de capacitate este *faradul*. Ea reprezintă capacitatea unui conductor, căruia aplicându-i-se potențialul de 1 volt timp de o secundă, primește o energie electrică egală cu 1 watt. Este după cum se vede o valoare foarte mare. În general se utilizează sub-multipli și mai ales milionimea de farad, sau microfaradul. Simbolul unității este F ; în consecință cel al microfaradului este μF , iar pentru milioana parte din microfarad se utilizează simbolul pF sau $\mu\mu\text{F}$.

IGNOTUS : Care va fi deci capacitatea unei sfere conductoare de dimensiunea unui măr ?



Capacitatea unui conductor sferic de dimensiunile globului terestru are o valoare de numai $700 \mu\text{F}$.

CURIOSUS : Foarte mică. Și ca să-ți dau un exemplu, închipuie-ți o sferă conductoare de dimensiunile pământului. Capacitatea sa este numai de $700 \mu\text{F}$.



NAȘTEREA UNUI CONDENSATOR

IGNOTUS : Constat că valoarea capacității este ceva atât de infim încât îmi închipui că rolul jucat de ea în electronică este și el foarte mic.

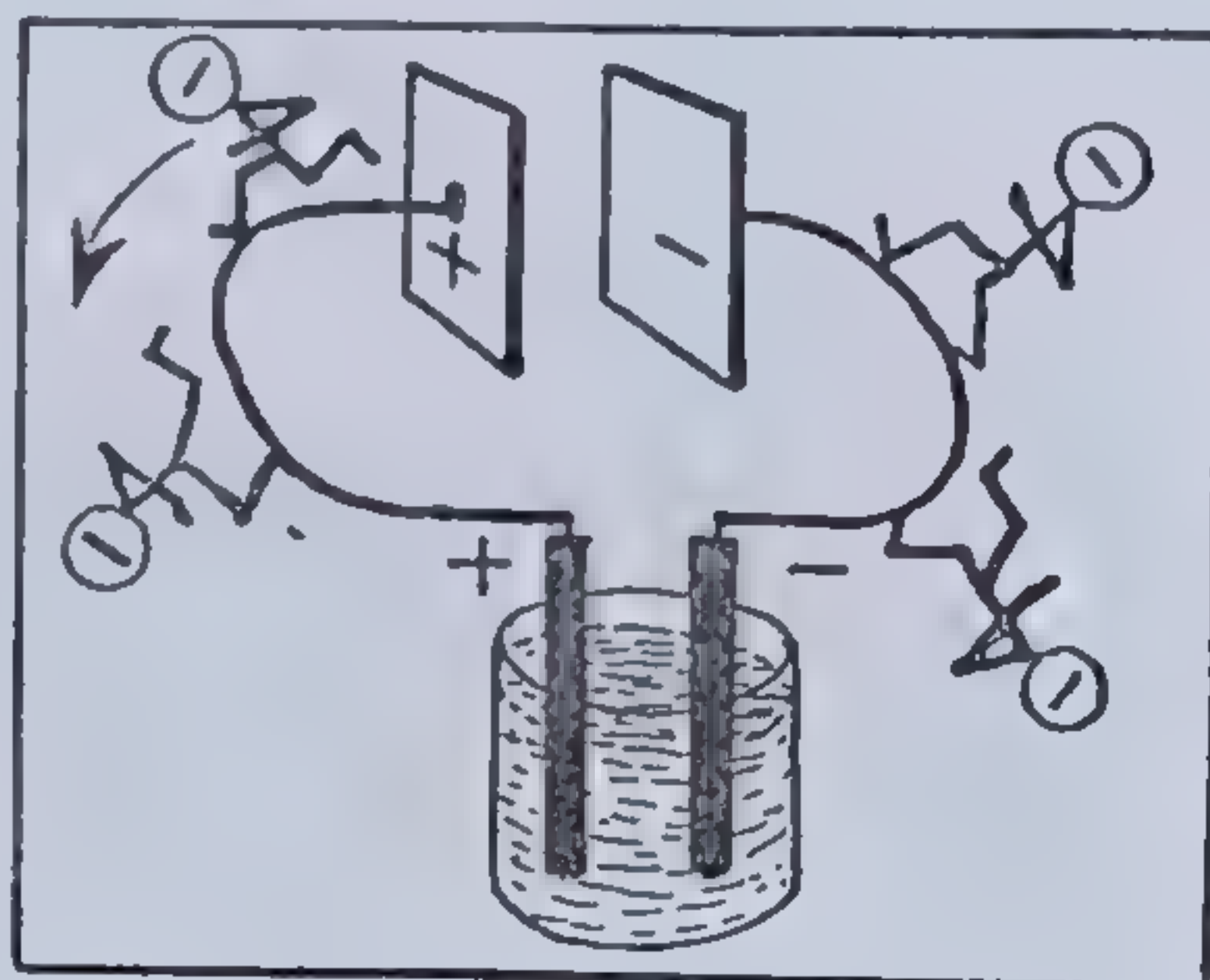
CURIOSUS : Te înșeli, dragă prietene. Există însă un mod foarte ușor de realizat prin care valoarea capacității se poate mări foarte mult, sau mai precis un mod pentru condensarea capacității.

IGNOTUS : Nu prea văd cum se pot realiza toate acestea fără să mărim dimensiunile conductorului.

CURIOSUS : Foarte simplu. Se ia un conductor încărcat cu o sarcină. opusă celei pe care o posedă primul conductor și se apropie cele două corpuri cu singura și cea mai importantă condiție de a nu le atinge. Să vedem ce se întâmplă. Asupra sarcinilor de semn opus se exercită o forță de atracție și în felul acesta valoarea sarcinii electrice crește.

IGNOTUS : Grozavă idee ! Dar în realitate cum se procedează ?

CURIOSUS : Cele două conductoare apropiate formează condensatorul, fiecare dintre ele fiind o armătură. Să ne închipuim, de exemplu, două plăci conductoare de formă patrată dispuse paralel una în fața celeilalte. Aceste două plăci (care nu se ating) se conectează fiecare la unul din polii unei baterii sau a oricărei alte surse de tensiune. Ce se întâmplă ?



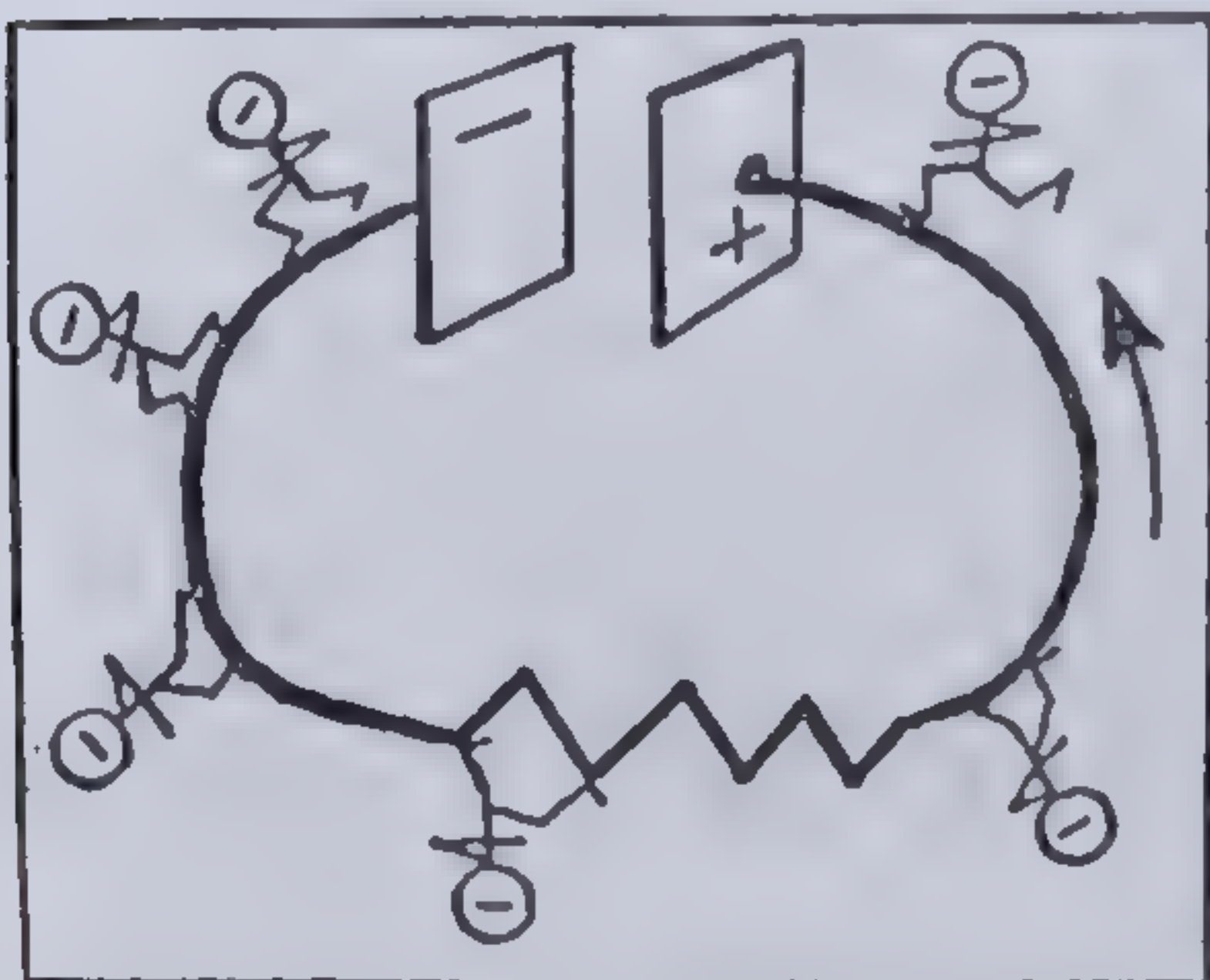
Prin conectarea unui condensator la o pilă electrică, armătura conectată la polul negativ se încarcă cu electroni, iar cea legată la polul pozitiv îi pierde.

IGNOTUS : Îmi închipui că din spre polul negativ al bateriei electronii vor goni spre armătura de care este legat acesta, încărcînd-o negativ. Această sarcină negativă va respinge toți electronii de pe armătura ce se află în fața ei. Electronii pe care-i conține aceasta se vor îndrepta spre polul pozitiv al bateriei, de care de altfel este legată și care-i atrage. Foarte curios fenomen ! Am putea spune că prin tot ansamblul circulă un curent adevărat, exact ca și în cazul în care la polii bateriei ar fi legat un conductor neîntrerupt. În cazul nostru însă circuitul electric este deschis, deoarece armăturile condensatorului sînt izolate una de cealaltă.

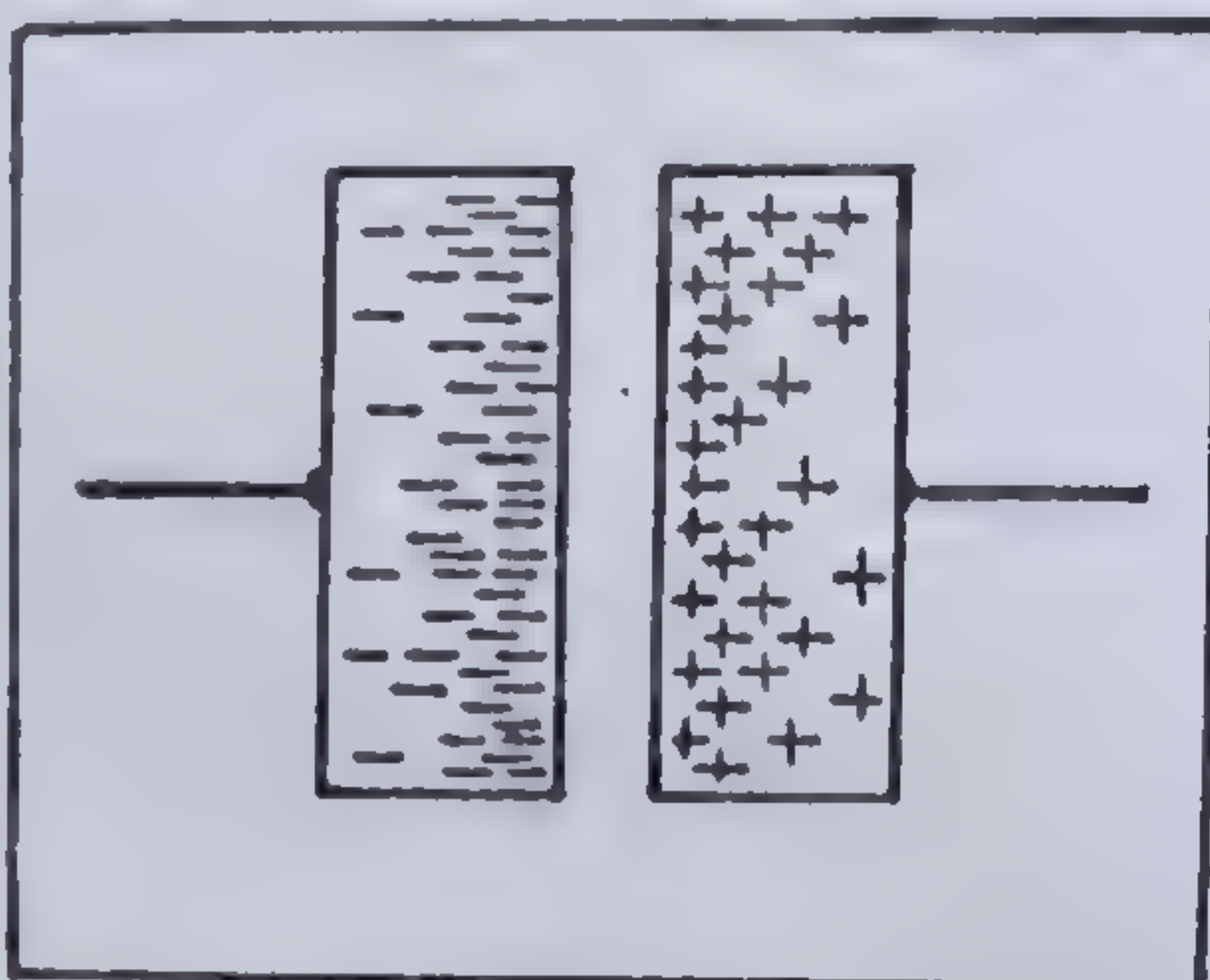


ÎNCĂRCARE ȘI DESCĂRCARE

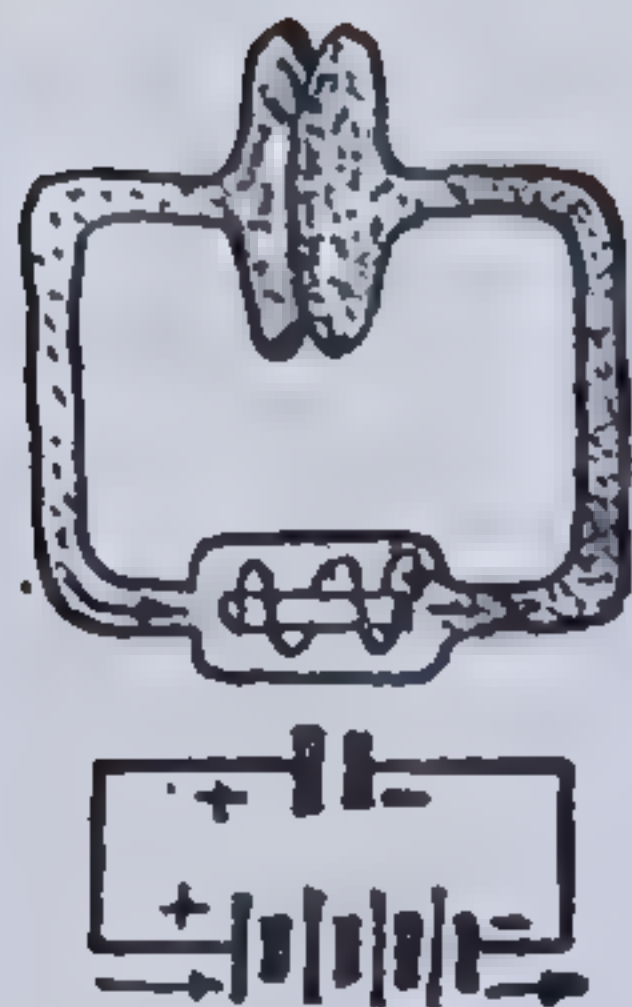
CURIOSUS : În cele expuse de tine, ai descris perfect *curentul de încărcare*, curent a cărui circulație se întrerupe odată cu încărcarea condensatorului. La începutul încărcării intensitatea sa este foarte mare. Dar odată cu creșterea sarcinii electrice pe armături, viteza de circulație a electronilor scade, de-



Condensatorul se poate descărca printr-o rezistență legată la bornele lui.



Repartizarea sarcinilor electrice pe armăturile condensatorului.

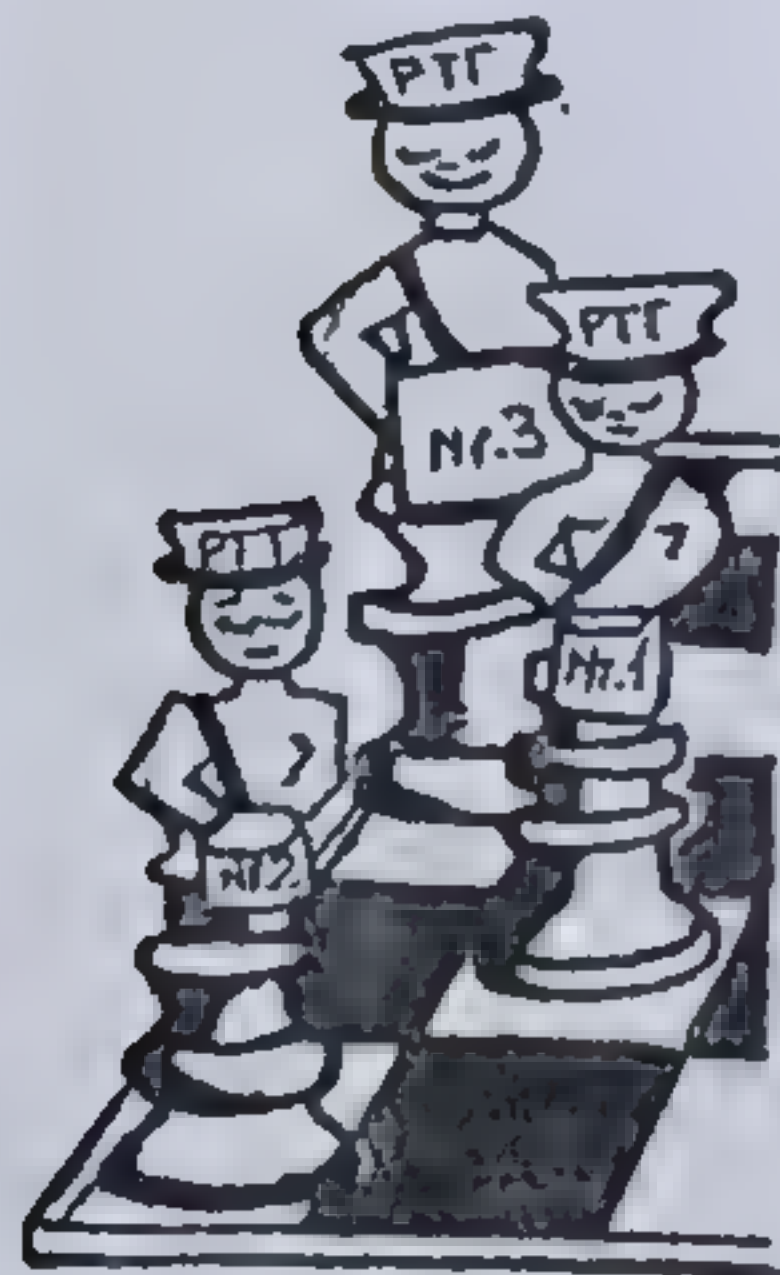


oarece cei care s-au plasat pe armătura negativă încep să respingă electronii care vin dinspre polul negativ. Pe de altă parte, numărul electronilor care părăsesc armătura pozitivă devine din ce în ce mai mic.

IGNOTUS : Ce se va întâmpla în momentul în care condensatorul fiind complet încărcat, deconectăm bateria ?

CURIOSUS : Condensatorul rămâne încărcat. Dar putem, dacă dorim, să-l *descărcăm*. Acest lucru se realizează prin conectarea celor două armături la capetele unei rezistențe sau pur și simplu legând cele două armături printr-un fir conductor. Electronii în exces de pe una din armături vor trece spre cealaltă pînă la stabilirea echilibrului electric între cele două plăci.

IGNOTUS : Mă întreb dacă nu putem compara condensatorul cu două rezervoare separate printr-o membrană din cauciuc elastic. Dacă cu ajutorul unei pompe mărim presiunea într-unul și o micșorăm în celălalt, aceasta ar corespunde cu încărcarea unui condensator. Oprim pompa în momentul în care diferența presiunilor între cele două rezervoare atinge o



anumită limită care depinde de dimensiunile rezervoarelor și de elasticitatea membranei. Această fază corespunde condensatorului încărcat. Pot face o astfel de comparație?

CURIOSUS: În linii mari să zicem că poți. Totuși mai există un detaliu prin care lucrurile diferă. În fiecare din rezervoarele tale presiunea este aceeași în toate punctele. Pe armăturile unui condensator, însă, densitatea sarcinilor electrice nu este uniformă. În porțiunile mai apropiate de armătura opusă densitatea sarcinilor electrice este mult mai mare. Faptul se explică prin aceea că în electricitate nu contează numai influența polului bateriei la care este conectată armătura, ci și atracția datorită sarcinilor opuse ca semn. În timp ce la rezervoarele reale contează numai forța de împingere a pompei.

VALOAREA CAPACITĂȚII

IGNOTUS: Explică-mi, te rog, ce anume determină valoarea capacității? Aci nu mai este vorba de un conductor izolat a cărui capacitate este foarte mică. În exemplul nostru forța de atracție singură asigură creșterea numărului sarcinilor pe care poate să-l cuprindă armăturile.

CURIOSUS: Foarte exact. Și acum poți înțelege ușor că valoarea capacității este cu atât mai mare cu cât suprafețele armăturilor devin mai mari. În plus, ținându-se seama de forța de atracție poți raționa și singur: cu cât armăturile sînt mai apropiate cu atât capacitatea condensatorului crește.

IGNOTUS: De fapt valoarea capacității este proporțională cu suprafața armăturilor și invers proporțională cu distanța dintre ele. Din nou sîntem în prezența unei relații pur geometrice.

CURIOSUS: Nu-i chiar așa, dragă Ignotus. Există și un al treilea factor care intră în joc. Comparația pe care ai făcut-o cu rezervoarele îți va ajuta mult să-i înțelegi rolul. În cazul rezervoarelor, în afară de volumul și grosimea membranei, trebuie să se țină seama și de elasticitatea și de materialul din care este realizată aceasta.

Ei bine, în cazul condensatoarelor, un factor foarte important este și natura *dielectricului* care separă cele două armături. Acest termen se aplică tuturor corpurilor izolante. Dacă dielectricul este chiar aerul, constanta dielectrică, adică factorul care intră în calculul capacității, este egal cu 1. Dar dacă în loc de aer, în spațiul dintre armături se introduce un alt corp izolanț, de exemplu mică, valoarea capacității condensatoru-

lui crește de 8 ori, deoarece constanta dielectrică a acesteia este egală cu 8.

IGNOTUS : Care este rolul pe care îl joacă grosimea armăturilor ? În ce proporție influențează aceasta valoarea capacității ?

CURIOSUS : Ai să te miri, dar grosimea armăturilor nu are nici un fel de influență, deoarece sarcinile electrice se acumulează pe nivelele cele mai apropiate de suprafețele armăturilor ce stau față în față. Iată, pentru ca să te lămurești mai bine și formula care permite calcularea capacității C , exprimată în picofarazi ($10^{-12}F$), funcție de suprafața S a armăturilor, exprimată în centimetri pătrați, de distanța d dintre armături, exprimată în centimetri și de constanta dielectrică K :

$$C = 0,0885 K \frac{S}{d}$$

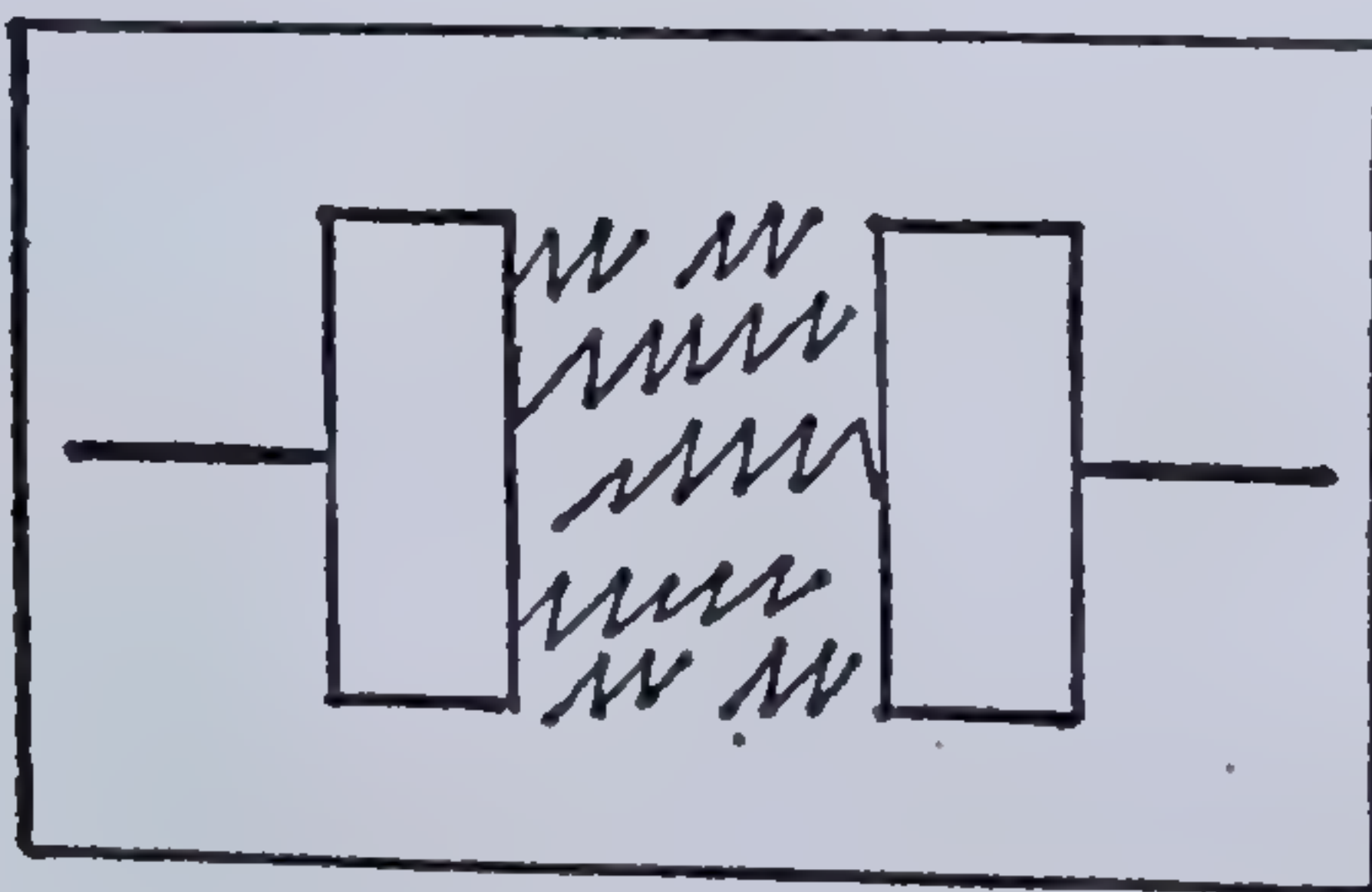
IGNOTUS : Cînd mă uit la această formulă constat că putem crește cît dorim valoarea capacității. În acest scop este suficient să apropiem cît mai mult cele două armături. Pentru un d infinit mic C devine infinit mare.

CURIOSUS : Da, dar acest lucru este infinit imposibil.

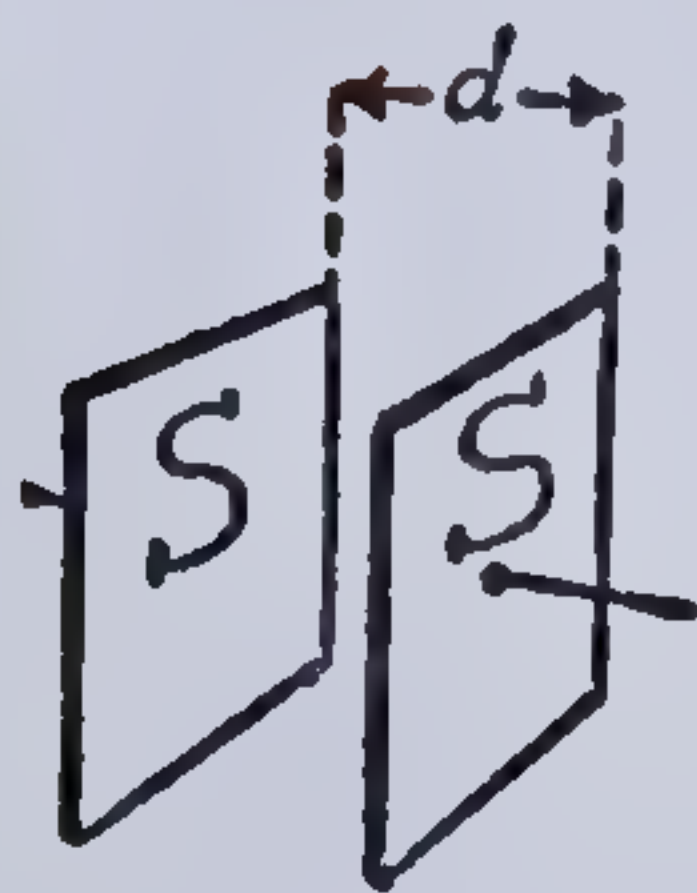
IGNOTUS : De ce ? Aci matematica nu mai este matematică ?

CURIOSUS : Nu. În schimb se riscă străpungerea dielectricului. În comparația ta cu rezervoarele, dacă ai tot reduce grosimea membranei, la un moment dat aceasta se va rupe datorită presiunii care i se aplică.

Ei bine, în cazul condensatorului, apropiind prea mult armăturile, sarcina electrică va străpunge dielectricul. Atracția dintre sarcinile negative și cele pozitive va permite electronilor să traverseze sub formă de scînteii aerul sau orice alt dielectric ce separă armăturile.



În cazul în care tensiunea aplicată condensatorului este prea mare sau armăturile acestuia sînt prea mari sau armăturile acestuia sînt prea apropiate, între cele două plăci apar scînteii ce descarcă condensatorul.



IGNOTUS : În consecință, distanța dintre armături nu poate fi redusă sub o anumită valoare. Îmi închipui că această valoare depinde atât de natura dielectricului, cât și de tensiunea aplicată armăturilor. Cu cât aceasta este mai mare cu atât scintele vor țîșni mai repede. Dar asta depinde și de dielectricul în cauză.

CONDENSATOARE FIXE, AJUSTABILE ȘI VARIABLE

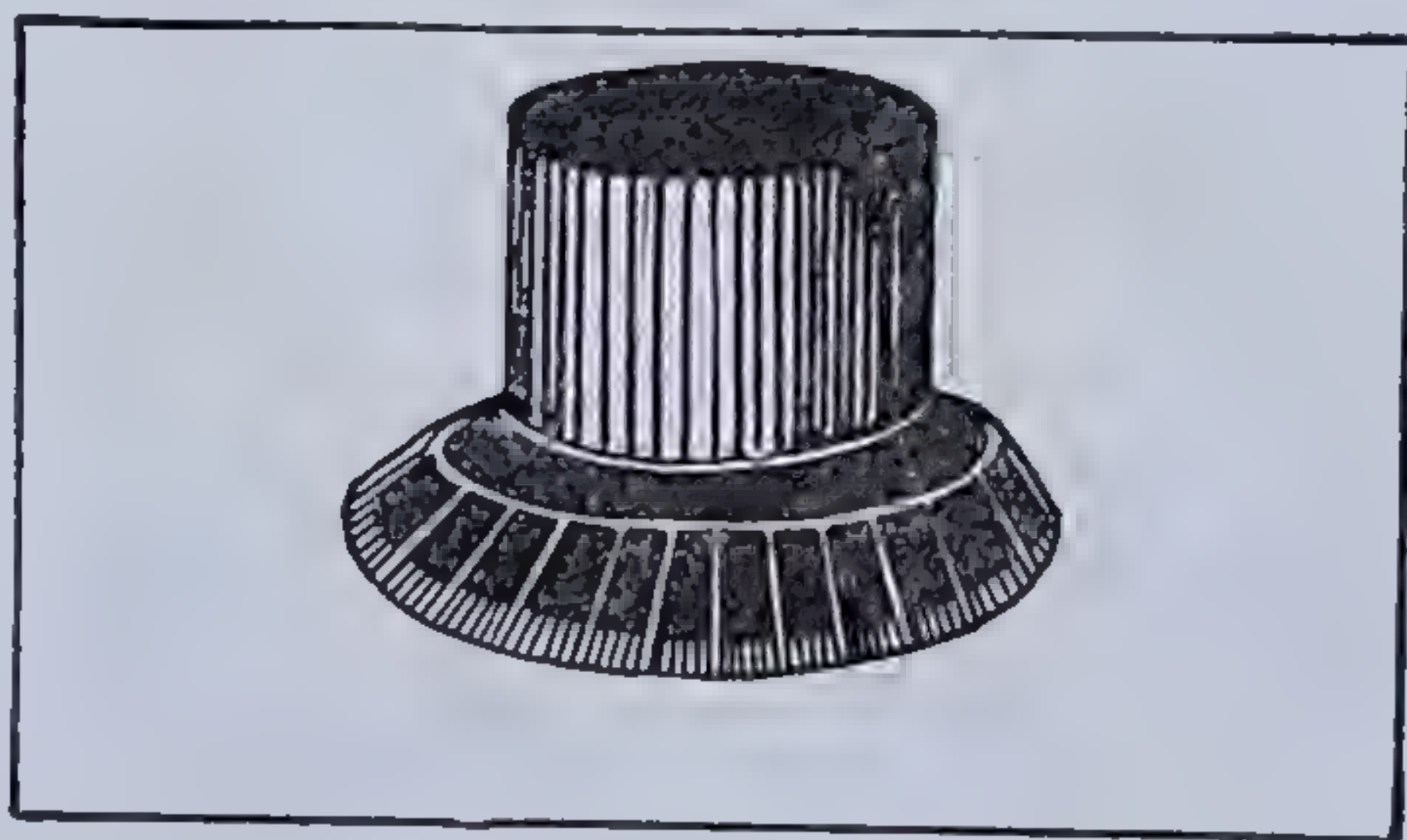
CURIOSUS : Ai perfectă dreptate, dragă prietene. Pot adăuga că există *condensatoare ajustabile* a căror capacitate poate fi variată prin apropierea sau depărtarea armăturilor pînă la o anumită limită. În acest scop una din armături este elastică fiind apropiată de cealaltă cu ajutorul unui șurub care servește la reglarea distanței. Limitarea distanței între cele două armături se realizează cu ajutorul unui dielectric solid plasat între armături.

IGNOTUS : De fapt ceea ce spui tu este exact contrariul *condensatorului fix*, termen cu care se denumesc desigur condensatoarele a căror capacitate nu poate fi modificată ?

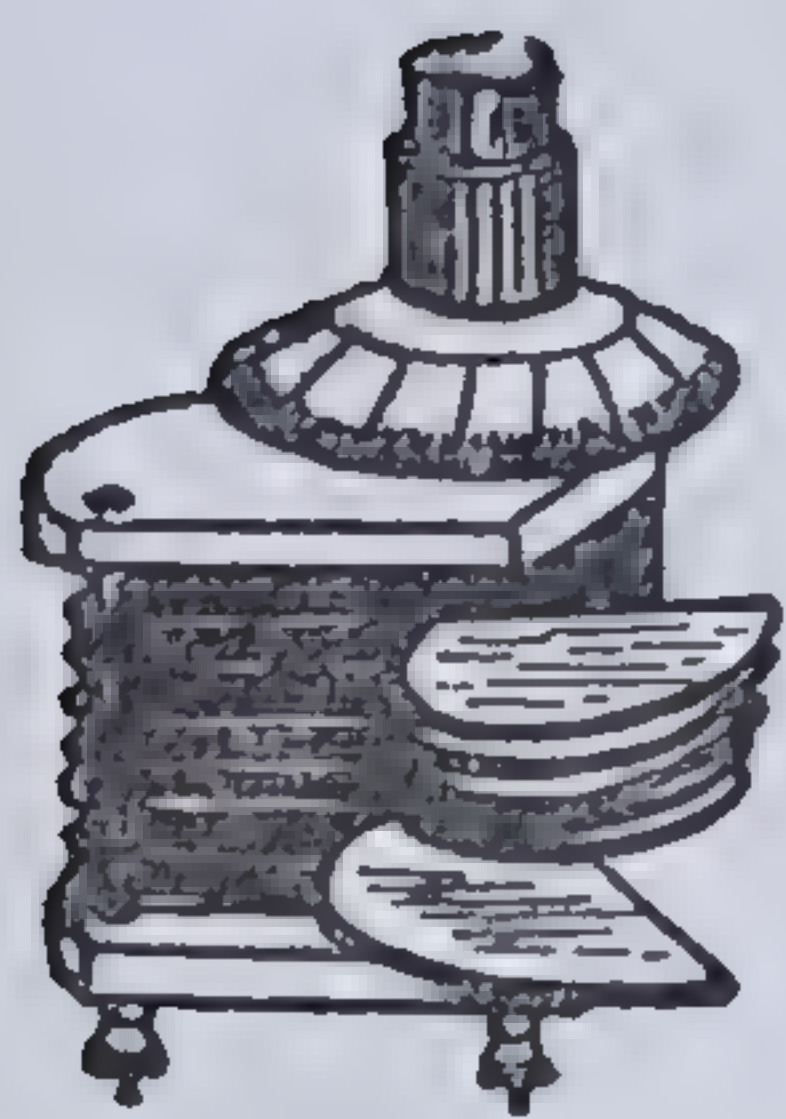
CURIOSUS : Nu, Ignotus. Ceea ce se poate considera opusul condensatorului fix este *condensatorul variabil*. La acest dispozitiv variabilă nu este distanța dintre plăci ci suprafața lor sau cel puțin o porțiune din suprafețele ce se plasează față în față.

IGNOTUS : Îmi închipui că în acest caz una din armături se deplasează lateral față de cealaltă.

CURIOSUS : Da. În general un condensator variabil se compune dintr-un ansamblu de armături fixe și paralele conectate între ele și din alt ansamblu de armături mobile paralele de asemenea, legate între ele și dispuse între cele fixe.



Butonul de reglaj al unui condensator variabil poate fi gradat în valori de capacitate, frecvență sau lungimi de undă.



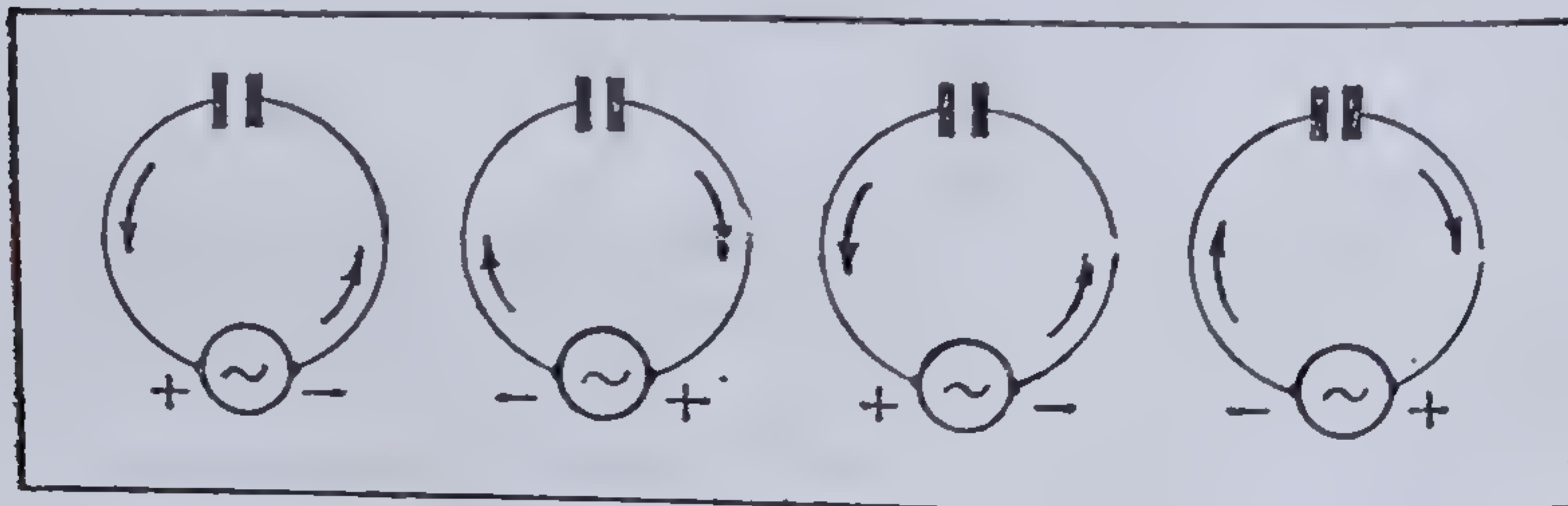
Modelul utilizat în general are armăturile realizate aproximativ în formă de semicerc. Armăturile mobile sînt fixate pe un ax care le leagă între ele și permite rotirea lor în spațiul dintre armăturile fixe. Butonul ce servește la rotire poate fi eventual gradat în valori de capacitate sau în valori pe care le determină rotirea sa, cum ar fi frecvența sau lungimea de undă. Acestea însă am să ți le explic mai tîrziu.

TRECEREA CURENTULUI ALTERNATIV.

IGNOTUS : În toată povestea aceasta cu condensatoarele este ceva ce mă deranjează și anume absența mișcării. Sarcinile electrice ale condensatorului sînt imobile, odată ce acesta este încărcat sau descărcat. Eu însă iubesc mișcarea.....

CURIOSUS : Vei fi satisfăcut imediat. În loc de a conecta un condensator la o sursă de tensiune continuă, leagă-l la o sursă de curent alternativ. Ia spune-mi ce se întîmplă ?

IGNOTUS : Stai puțin să mă gîndesc. Să începem cu alternanța în care una sau alta din armături este încărcată pozitiv, iar cealaltă negativ. Prin trecerea la alternanța următoare, condensatorul se va descărca, apoi se va încărca însă cu o polaritate de semn opus. Și așa mai departe. Pentru fiecare alternanță va avea loc atît o descărcare cît și o încărcare.



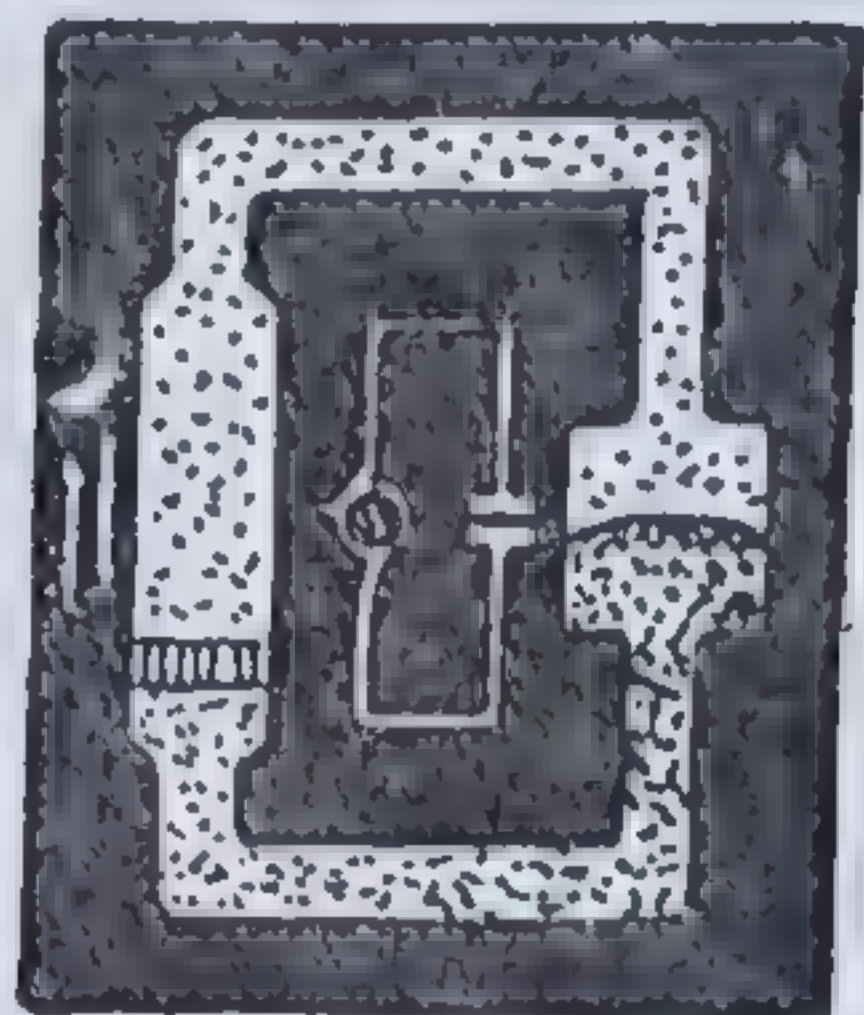
Deplasarea electronilor în circuitul care leagă condensatorul la sursa de tensiune alternativă. Patru alternanțe succesive.

CURIOSUS : În condensatoarele ce leagă armăturile de sursa de tensiune va avea deci loc o mișcare de electroni, într-un sens, pe care-l va schimba odată cu schimbarea alternanței. Curentul sau mișcarea electronilor își va schimba deci sensul la fiecare alternanță. Ceea ce vrea să însemne că ne găsim în prezența.....

IGNOTUS :..... unui veritabil curent alternativ. Este de-a dreptul formidabil ! Curentul alternativ circulă într-un circuit care de fapt, este deschis, deoarece între armături nu există contact electric.

CURIOSUS : Da, dragul meu Ignotus. Se spune chiar că „condensatorul lasă să treacă curentul alternativ“. Dar înțelege bine, electronii nu trec prin condensator. Capacitatea sa permite circulația electronilor în circuit sub forma unui șir de du-te vin-o.

IGNOTUS : Pentru a înțelege mai ușor, revin la exemplul meu cu cele două rezervoare de aer separate printr-o membrană elastică. Dacă acum le voi lega printr-o țevă nu la o pompă, ci la un cilindru în care pistonul realizează mișcarea de du-te vin-o, aerul va fi antrenat de o mișcare alternativă care va umfla și dezumfla pe rînd cînd rezervorul din dreapta, cînd cel din stînga.



REACTANȚA UNUI CONDENSATOR

CURIOSUS : Excelentă comparație. Ea ne va permite să mergem mai departe în studiul nostru asupra condensatorului. După părerea ta, care este intensitatea curentului alternativ astfel produs ?

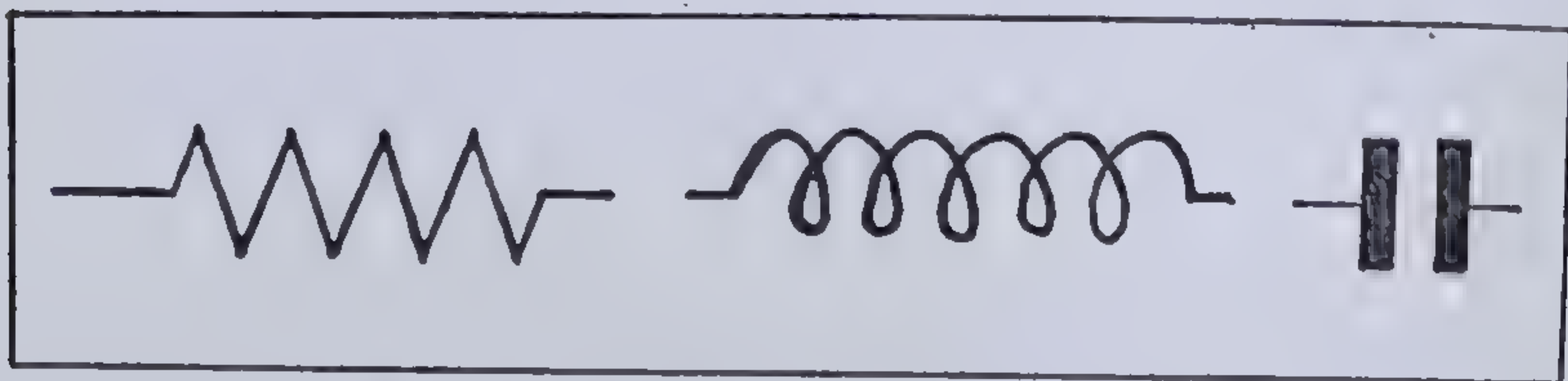
IGNOTUS : Pentru fiecare alternanță, cantitatea de aer ce trece prin țevile menționate mai sus, depinde atât de capacitate, adică de volumul rezervoarelor cît și de presiunea exercitată de piston. Cu cît frecvența mișcărilor pistonului este mai mare, cu atît mai mare va fi cantitatea de aer ce va trece în unitate de timp printr-o secțiune de țevă.

CURIOSUS : Aceleași fenomene există și în electricitate. Cu cît capacitatea condensatorului este mai mare, cu atît mai mare va fi numărul electronilor care-l vor încărca apoi vor descărca la fiecare alternanță. În plus, cu cît numărul acestor alternanțe în unitate de timp va fi mai mare, cu atît va fi mai mare numărul electronilor ce circulă prin circuit într-o secundă.

Vezi deci, că în acest caz intensitatea curentului este proporțională cu capacitatea condensatorului și cu frecvența sursei alternative.

IGNOTUS : Constat că la fel ca și o rezistență sau inducțanță, condensatorul se opune trecerii curentului. Dar — lucru curios — valoarea rezistenței ohmice nu depinde de frecvență. Reactanta inductivă sau inducțanța, această rezistență a bobinelor, este proporțională cu frecvența și valoarea ei

crește odată cu aceasta. În timp ce rezistența pe care o opune capacitatea trecerii curentului alternativ scade odată cu creșterea frecvenței.



Trei tipuri de obstacole care se opun trecerii curentului electric: rezistența ohmică, bobina și condensatorul.

Și mai pot să adaug și alt lucru, prin care reactanța capacitivă acționează în sens contrar celei inductive: cu cât valoarea inductanței este mai mare, cu atât curentul alternativ o parcurge mai greu, în timp ce în cazul condensatorului, cu cât valoarea capacității este mai mare cu atât rezistența opusă de ea trecerii curentului alternativ este mai mică.

CURIOSUS: Ai avut o idee excelentă comparând reactanța inductivă sau inductanța cu *reactanța capacitivă*. Termenul de reactanță capacitivă materializează rezistența pe care un condensator o opune trecerii curentului alternativ. Această reactanță capacitivă este invers proporțională cu capacitatea C și cu frecvența f . Formula va fi deci

$$Z_c = X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

IGNOTUS: Formula e grozavă deoarece în cazul curentului continuu, frecvența fiind zero, valoarea lui X_c devine infinită. Aceasta corespunde exact realității, deoarece un condensator prezintă o rezistență infinită trecerii curentului continuu.

Profesorul Radiol analizează :

Conectarea componentelor

Orice circuit electric se caracterizează printr-o anumită rezistență ohmică, o anumită inductanță și o capacitate. Componentele ce posedă caracteristicile enumerate mai sus pot fi conectate între ele în diverse moduri. În acest capitol se vor studia valorile diverselor caracteristici ale circuitelor compuse din rezistență, bobine și condensatoare. În încheiere se expune fenomenul de rezonanță, fenomen ce joacă un rol fundamental în electronică.

În sfârșit, dragii mei prieteni, ați terminat studiul tuturor componentelor pasive. Se numesc componente pasive rezistențele, bobinele și condensatoarele, pentru a le distinge de tuburile electronice și de tranzistoare, acestea fiind denumite componente active, pe care de altfel le veți studia în curînd.

COEXISTENȚA CELOR TREI : R, L și C

Tot ceea ce ai explicat amicului tău, dragă Curiosus, este exact. Trebuie totuși să adaug că în realitate nici una din componente nu posedă o singură proprietate care să-i determine denumirea.

Astfel încît un simplu conductor, compus dintr-un fir drept posedă în același timp o rezistență ohmică pură, o inductanță și o capacitate. De fapt oricît de bună ar fi conductibilitatea sa, el prezintă o anumită rezistență ohmică.

Vă reamintiți că, prin trecerea sa, curentul creiază în jurul conductorului un cîmp magnetic, dacă este vorba de un curent alternativ. În consecință cîmpul magnetic va fi variabil și va induce la rîndul său în conductor curenți care se vor opune

curenților inductivi. Aci ne aflăm în prezența fenomenului de autoinducție.

În sfârșit, ca orice conductor, firul nostru este capabil să conțină și o anumită sarcină electrică negativă sau pozitivă. Cu alte cuvinte posedă și o capacitate.

Ceea ce caracterizează astfel un simplu fir electric rectiliniu, se aplică tot atât de bine unei bobine : în afară de inductanță, care este caracteristica sa esențială, ea mai posedă de asemenea o anumită rezistență ohmică și o anumită capacitate.

În ceea ce privește condensatorul, în afară de capacitatea care îl caracterizează, el posedă de asemenea o anumită, dar în general foarte slabă rezistență ohmică. De fapt, sarcinile electrice care se deplasează spre nivelele armăturilor, ce se găsesc față în față sau în sens contrar, circulă prin masa armăturilor, care oricum prezintă totuși o foarte mică rezistență ohmică. Tot această mică deplasare a sarcinilor electrice dă naștere și unui slab efect de autoinducție.

Vedeți dar că nici una din cele trei caracteristici pe care le simbolizează literele R , L sau C nu pot fi realizate singure fără a fiacompaniate de celelalte două. În general, în ceea ce vom studia de aci înainte, nu vom ține însă seama de aceste caracteristici colaterale, căci acțiunea lor este mult mai mică decât proprietatea esențială ce caracterizează o componentă.

CONECTAREA ÎN SERIE

În schimb, ceea ce trebuie să studiem cu seriozitate, este asocierea componentelor fie de același fel, fie combinate. Vom analiza care este valoarea rezultantă prin combinarea lor ca și rezistența opusă trecerii curentului, în acest caz.

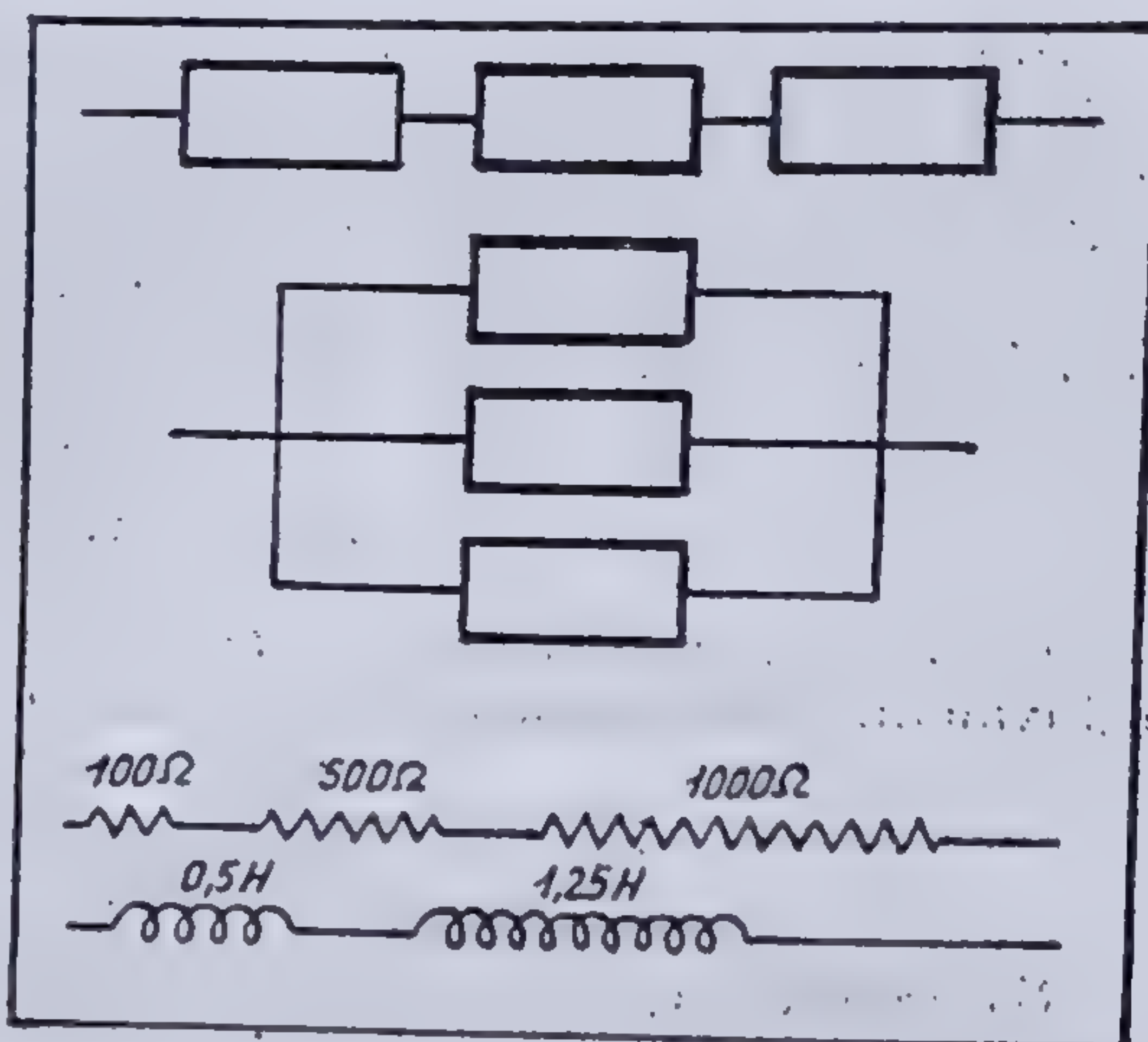
Componentele pot fi conectate fie *în serie*, fie *în paralel* sau *în derivație*.

Conectarea în serie se realizează atunci când extremitatea unei prime componente este legată la capătul celei următoare și așa mai departe. În acest caz curentul trece succesiv prin toate componentele ce formează respectivul ansamblu.

La conectarea în paralel se leagă între ele toate extremitățile unei părți a componentelor într-un punct, iar celălalt capăt al acestora se leagă în alt punct. Cu alte cuvinte curentul parcurge simultan toate componentele legate astfel, împărțindu-se între ele.

Veți concepe foarte ușor că, fiind legate în serie, rezistențele se adună. Luați o rezistență de $10\ \Omega$, alta de $500\ \Omega$ și o a treia

Componente legate în serie (sus);
Componente legate în paralel (mijloc);
Trei rezistențe legate în serie (jos);
Două bobine legate în serie (jos).



de 1.000Ω și conectați-le în serie. Rezistența totală a acestui ansamblu va fi :

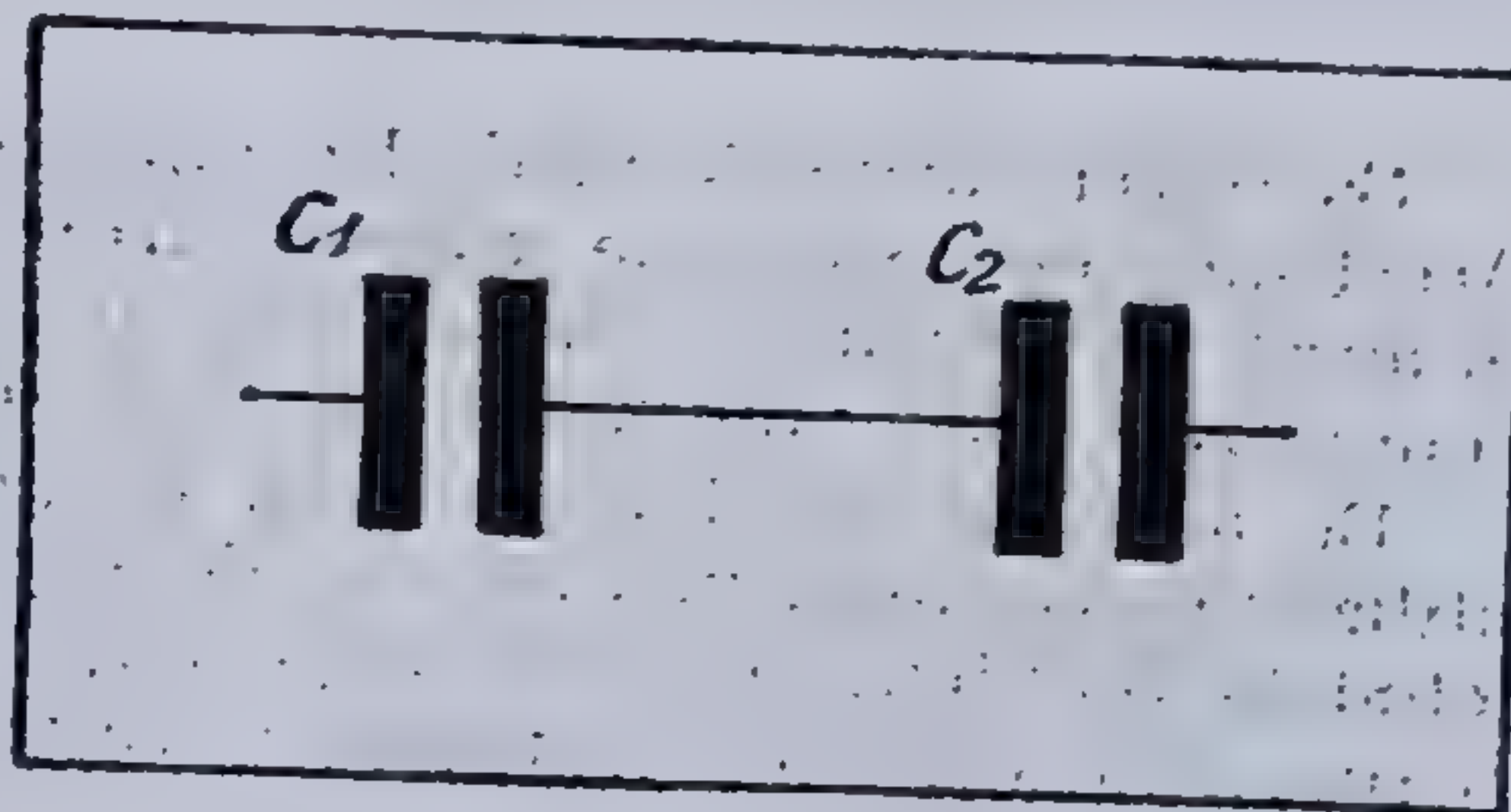
$$R = 100 + 500 + 1.000 = 1600\Omega$$

Să luăm acum niște bobine și să le legăm în serie. Cu condiția ca între acestea să nu existe inductanță mutuală, valorile lor se vor aduna.

Să luăm o bobină cu o inductanță de 0,5 H, alta de 1,25 H și să le conectăm în serie, dar destul de departe una de alta pentru a nu se influența reciproc sau pentru a se evita între ele orice efect de inducție. Valoarea inductanței rezultante va fi de :

$$L = 0,5 + 1,25 = 1,75 \text{ H}$$

Totul pare foarte simplu. Dar ia să vedem dacă lucrurile se repetă și în cazul condensatoarelor?



Condensatoare legate în serie. Capacitatea totală rezultantă este inferioară valorii fiecăruia dintre condensatoare.

Am menționat mai sus că prin acest mod de conectare, rezistențele componentelor se adună. Ori în cazul condensatoarelor, se adună între ele reactanțele capacitive. Să luăm deci cazul a două condensatoare care posedă capacitățile C_1 și C_2 , fiind parcurse, în serie, de un curent de frecvență f . Reactanțele lor se adună pentru a forma reactanța capacitivă rezultantă.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C_1} + \frac{1}{2\pi f C_2}$$

Dacă acum vom considera această reactanță rezultantă ca echivalenta unei capacități de valoare C_i , putem scrie :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C_i} = \frac{1}{2\pi f C_1} + \frac{1}{2\pi f C_2}$$

Să înmulțim egalitatea cu $2\pi f$; vom obține :

$$\frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Din ultima expresie puteți constata că, în cazul în care se leagă în serie două sau mai multe condensatoare, pentru a obține valoarea capacității rezultante, se adună mai întâi inversul capacităților și se obține inversul capacității rezultante, ca numai după aceea prin răsturnarea fracției să se obțină valoarea reală.

În cazul celor două condensatoare legate în serie, din ultima formulă se poate deduce fără un prea mare efort matematic, valoarea capacității întregului ansamblu :

$$C_i = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

CONECTAREA ÎN PARALEL

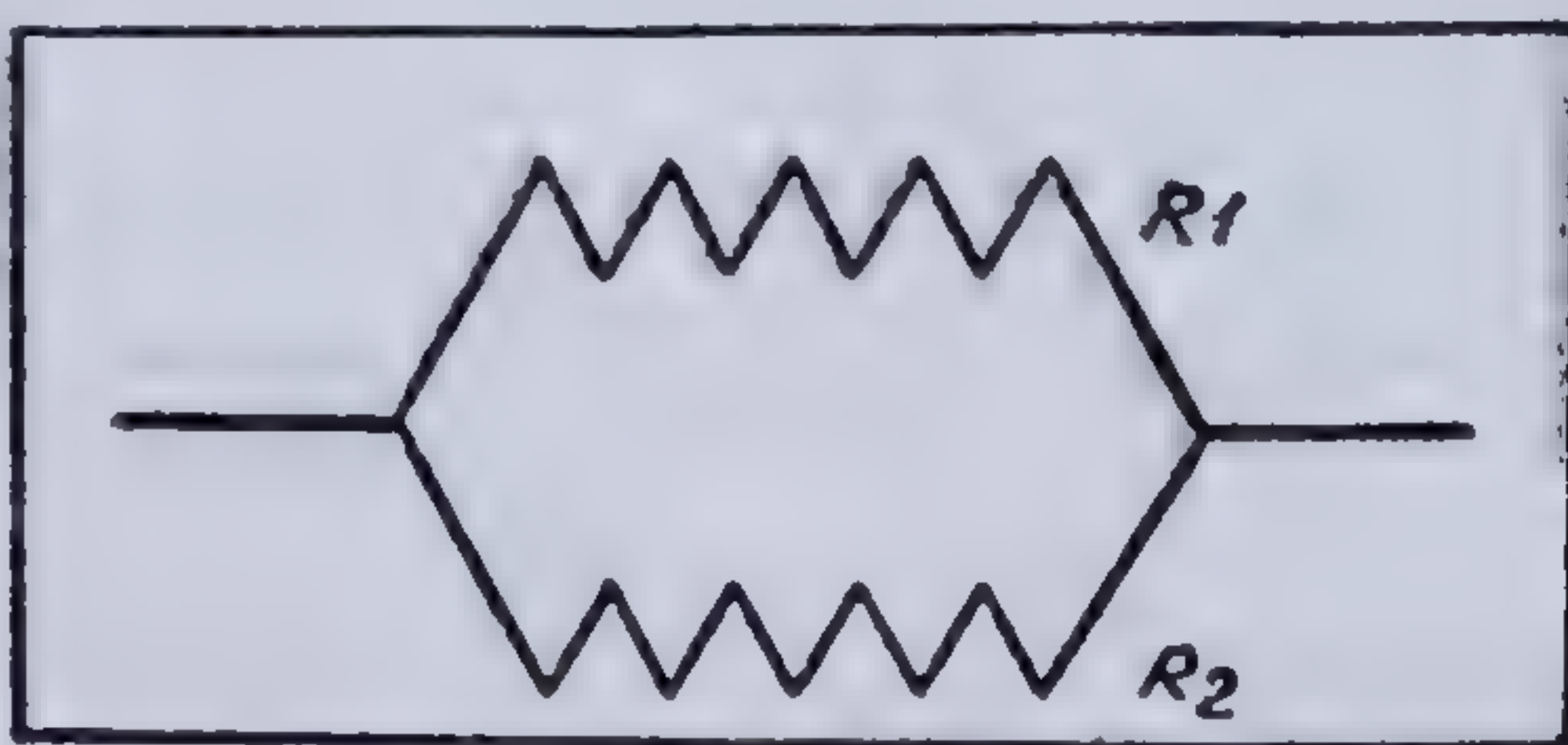
Să trecem acum la studiul componentelor legate în paralel. Acest mod de conexiune ușurează trecerea curentului. De fapt, în acest caz se adună *conductanțele* componentelor. Se numește conductanță inversul valorii rezistenței electrice.

De altfel în locul termenului de „rezistență” ar trebui să utilizez pe cel mult mai general de *impedanță* care desemnează totodată rezistența ohmică, impedanța sau reactanța inductivă și reactanța capacitivă, precum și rezultanta asocierii acestora.

Astfel dacă impedanța o vom nota prin simbolul Z , inversul acesteia îl vom nota cu $1/Z$, denumit *admitanță*.

Să luăm acum cazul rezistențelor ohmice legate în paralel. Conductibilitatea lor, $1/R$, se adună. În loc de conductibilitate se mai poate spune și *conductanță*. Datorită faptului că ea este inversul rezistenței, unitatea sa de măsură se numește *mho*, adică inversul unității „ohm”.

Legarea în paralel a rezistențelor reduce valoarea rezistenței totale a ansamblului.



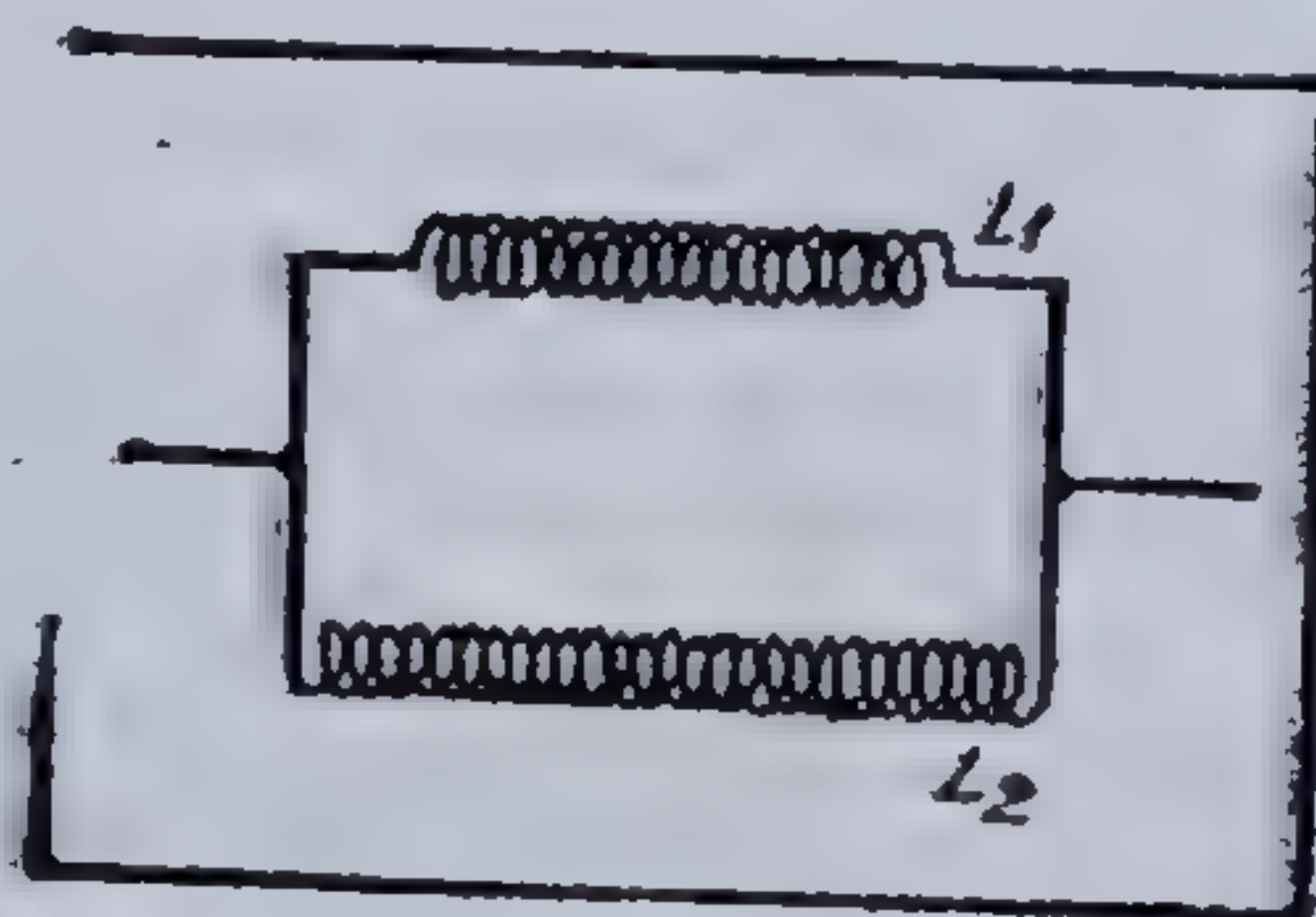
Dacă acum legăm în paralel două rezistențe R_1 și R_2 , conductanța ansamblului va fi echivalentă cu cea a unei rezistențe R_p , adică :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Constatați, sper, analogia între această expresie și cea a celor două condensatoare legate în serie ; și, în consecință, veți deduce fără dificultate valoarea rezistenței R_p , rezultată din ansamblul celor două rezistențe conectate în paralel :

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Dacă nu vă plictisește, să studiem acum cazul bobinelor legate în paralel, bineînțeles fără ca între ele să existe inducție mutuală. Inductanțele sînt proporționale cu valoarea de auto-inducție a bobinelor. În consecință comportarea lor este similară cu cea a rezistențelor ohmice.



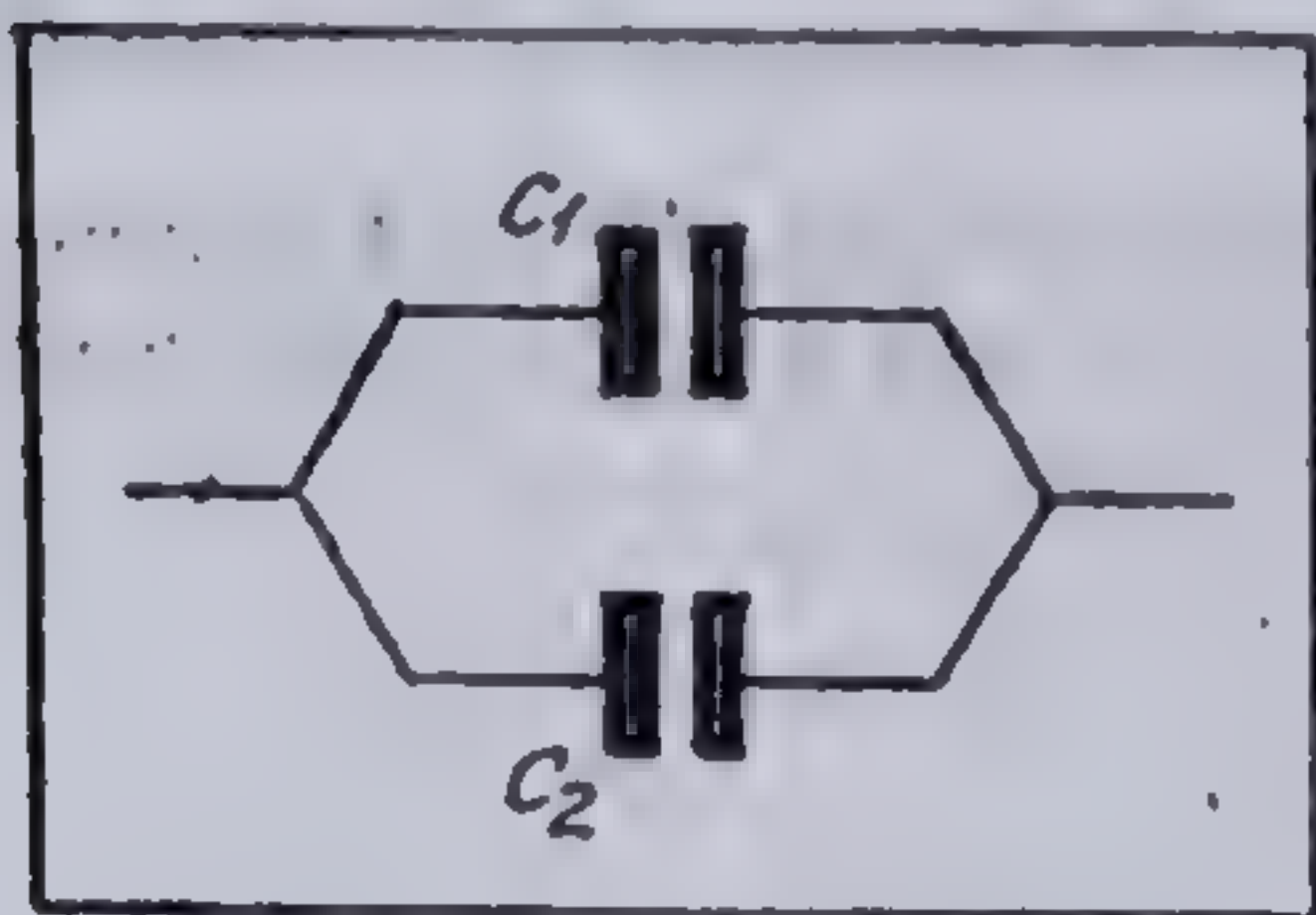
Bobine legate în paralel.

În aceste condiții, nu facem nici o eroare spunînd că, în cazul a două bobine L_1 și L_2 , legate în paralel, inductanța rezultantă va fi :

$$L_p = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$

Să examinăm acum cazul condensatoarelor legate în paralel. În acest caz trebuie să adunăm admitanțele, care de fapt sînt inversul reactanțelor capacitive. Dar acestea, după cum știți, sînt și ele invers proporționale cu valoarea capacităților. Cu alte cuvinte, admitanțele capacitive sînt direct proporționale cu valoarea capacităților. În concluzie, în cazul legării în paralel valoarea capacităților se adună :

$$C_p = C_1 + C_2$$



Condensatoare legate în paralel.

Pe de altă parte, dacă am fi analizat fenomenele fizice de încărcare a condensatoarelor, am fi ajuns foarte ușor la aceeași concluzie.

Și acum, dragă Ignotus, fixează bine în memorie că în cazul conectării în serie se adună impedanțele, iar în cazul conectării în paralel se adună admitanțele sau inversul impedanțelor.

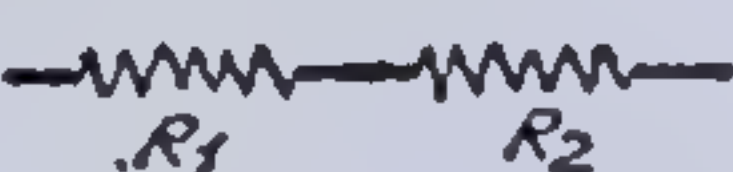
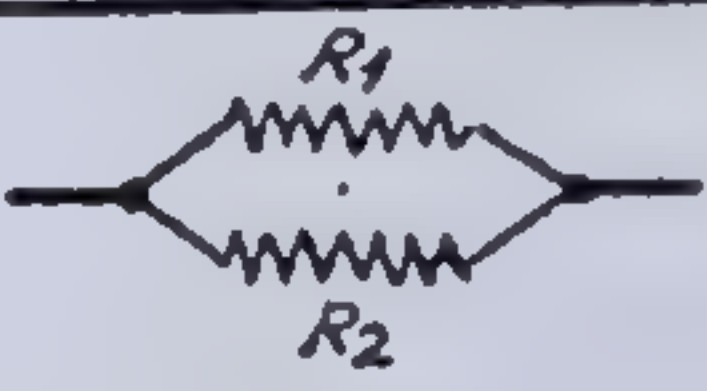
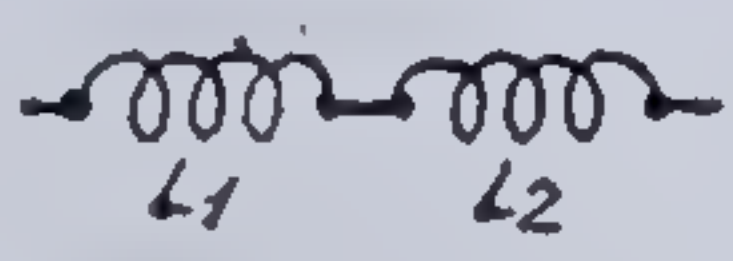
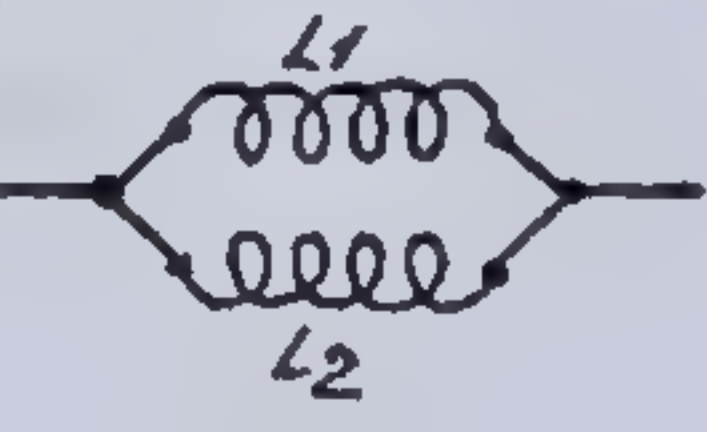
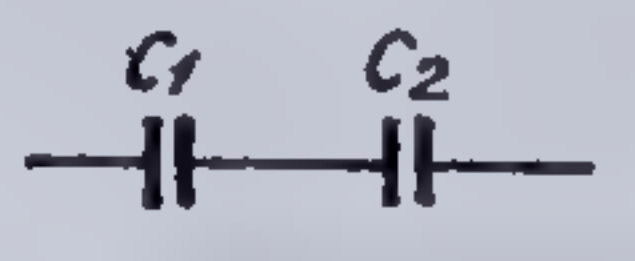
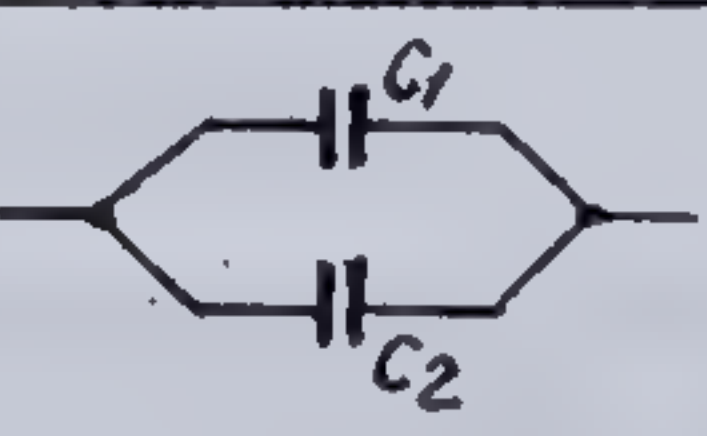
CONEXIUNI COMPLEXE

Tot ceea ce am discutat pînă aci nu este valabil decît în cazul ansamblelor ce conțin numai conexiuni în paralel sau conexiuni în serie a unui anumit tip de componente. În cazul în care vom conecta într-un același ansamblu rezistențe ohmice, bobine și condensatoare, lucrurile se complică.

N-aș vrea să vă obosesc studiind pe rînd toate combinațiile posibile. Ne vom limita numai la acelea întîlnite mai des în diversele scheme electronice.

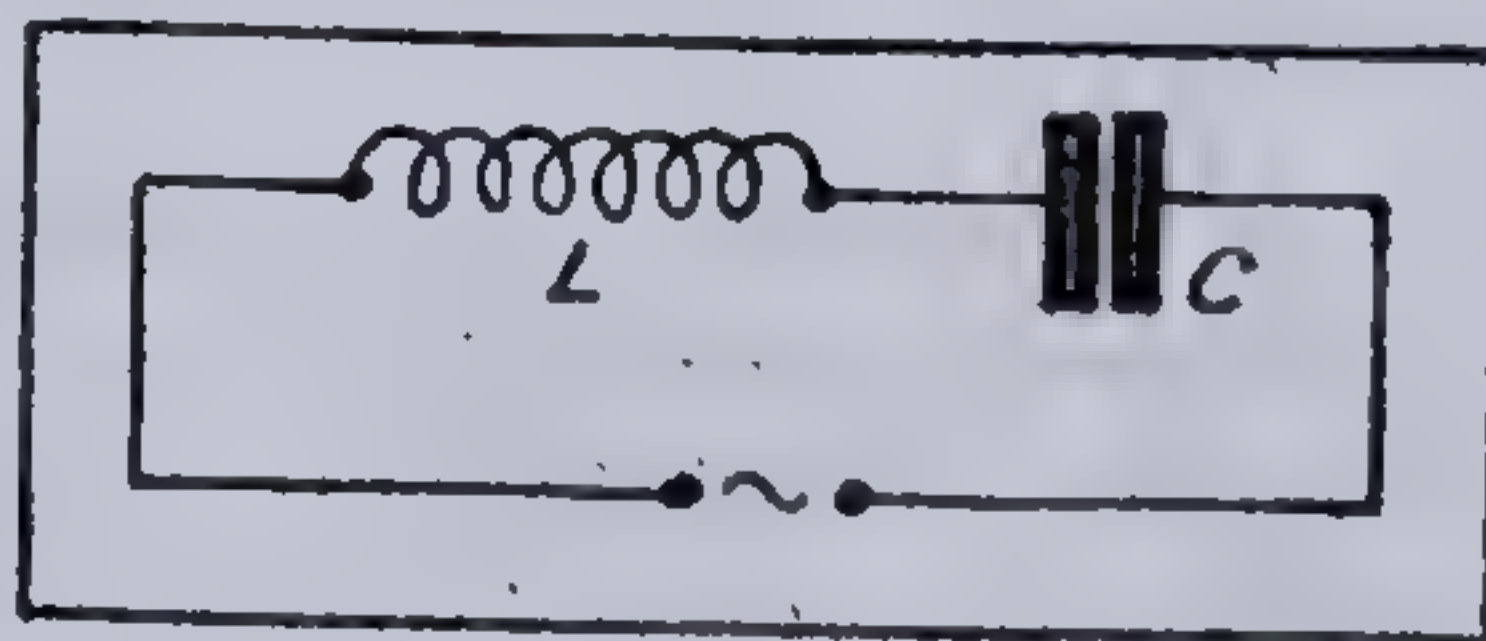
Să luăm mai întâi cazul unei bobine legate în serie cu un condensator. Impedanțele lor se adună. Dar acesta nu este un motiv pentru a scrie o formulă ce conține semnul +.

Inductanța și reactanța capacitivă se comportă foarte diferit, putem spune chiar de o manieră cu totul opusă una alteia.

SERIE	PARALEL
 $R = R_1 + R_2$	 $R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
 $L = L_1 + L_2$	 $L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
 $C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	 $C = C_1 + C_2$
IMPEDANȚE	
$Z = Z_1 + Z_2$	$Z = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$

Legarea în serie și paralel a rezistențelor, inductanțelor și capacităților. Impedanțe echivalente.

Impedanța ansamblului bobină și condensator legate în serie este egală cu diferența dintre reactanța inductivă și cea capacitivă.



Într-o bobină, variațiile intensității curentului au loc cu o anumită întârziere în raport cu variațiile tensiunii alternative care-i dă naștere. Este fenomenul ce se numește defazare înăpoi (sau de întârziere). El se datorează acțiunii curentilor de autoinducție, care se opun creșterii intensității curentului ce le-a dat naștere. Tot aceștia se vor opune în continuare micșorării acestei intensități, precum și schimbării polarității.

În cazul condensatoarelor fenomenul este invers, curentul este defazat înainte în raport cu tensiunea. De fapt pe măsură

ce condensatorul se încarcă, tensiunea dintre armăturile sale crește și dat fiind apropierea saturației, intensitatea curentului de încărcare scade.

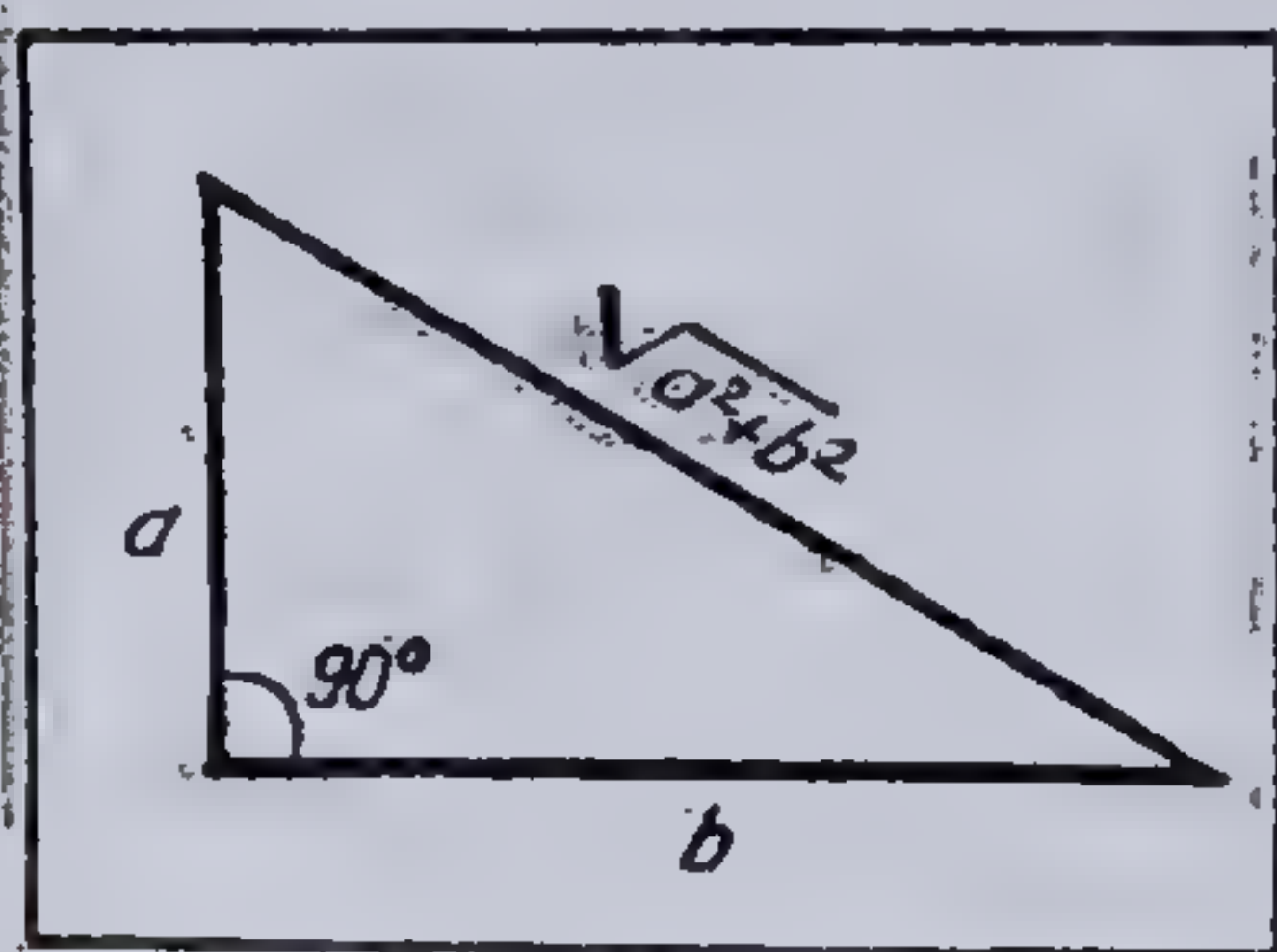
În consecință nu veți fi surprinși când voi aduna reactanta inductivă, cu cea capacitivă dar în fața celei din urmă voi pune semnul „minus“ :

$$X = X_L - X_c = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}$$

O astfel de impedanță poartă numele de *reactanță*. În cazul de mai sus nu s-a luat în calcul valoarea rezistențelor ohmice a celor două componente. Dacă însă aceasta prezintă o valoare care nu poate fi neglijată, formula noastră devine formula unei impedanțe (notată cu Z) și va avea forma :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

Vedeți că în acest caz trebuie extrasă rădăcina pătrată din suma patratelor rezistenței și a reactanței totale.



Într-un triunghi dreptunghi ipotenuza este egală cu radicalul din suma patratelor catetelor.

Ia spune-ți, figura respectivă nu vă reamintește nimic din domeniul geometriei? Nu tot în felul acesta se calculează dimensiunile ipotenuzei, într-un triunghi dreptunghic, în momentul în care se cunosc dimensiunile laturilor?

FENOMENUL DE REZONANȚĂ

Să revenim la circuitul nostru. Să presupunem că putem varia frecvența (f) a tensiunii alternative aplicată circuitului. Pe măsura creșterii ei, valoarea reactanței inductive crește, dar cea a reactanței capacitive scade, prima fiind direct proporțională iar a doua invers proporțională cu frecvența.

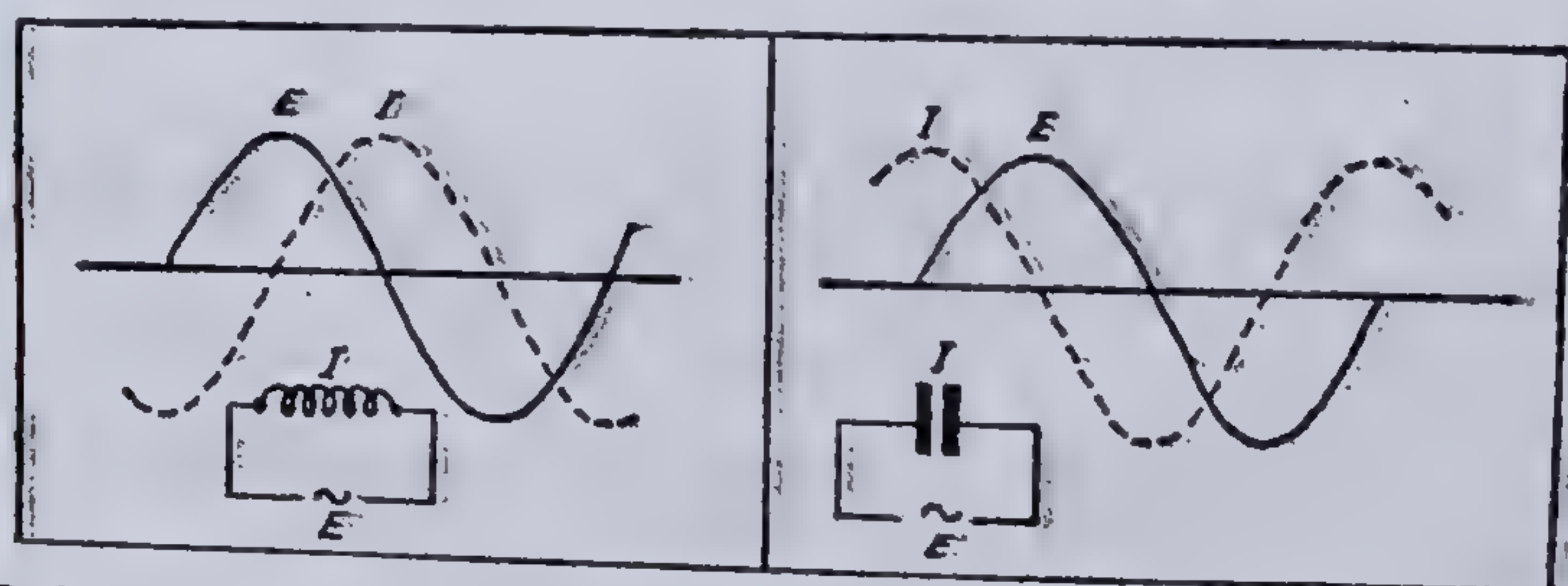
La frecvențe foarte mici, inductanța prezintă o valoare foarte mică în timp ce reactanța capacitivă una foarte mare. În consecință, reactanța totală reprezentând diferența dintre cele două, va poseda o valoare foarte mare.

Pe măsură însă, ce frecvența crește, valorile celor două reactanțe se apropie. Există o anumită frecvență pentru care acestea devin egale. În acest moment diferența dintre ele devine nulă. În formula impedanței (Z) sub radical nu mai rămâne decât valoarea rezistenței ohmice, R , cu alte cuvinte pentru această frecvență impedanța este egală cu rezistența ohmică R .

Ori, după cum știm, aceasta poate fi foarte, foarte mică. În aceste condiții, impedanța circuitului devine aproape nulă.

Pentru această valoare a frecvenței se spune că circuitul nostru este la *rezonanță*. Intensitatea curentului care-l traversează atinge valoarea maximă, iar defazarea dintre curent și tensiune dispare. Totul se petrece ca și cum am avea de a face numai cu o rezistență ohmică foarte mică.

Dacă în continuare frecvența tensiunii alternative continuă să-și mărească valoarea, ambele reactanțe, atât cea inductivă cât și cea capacitivă reapar, deoarece inductanța devine superioară celeilalte iar diferența între ele nu mai este egală cu zero.



Defazarea curentului I față de tensiunea E , datorită inducției. (stînga).

Defazarea dintre curent și tensiune este produsă de un condensator. Tensiunea E este defazată înapoi față de curentul I , (dreapta).

În acest caz defazajul, care, înainte de rezonanță, pune variațiile curentului în fața celor ale tensiunii (curentul defazat înainte) le va pune acum pe cele ale tensiunii înaintea curentului (tensiunea defazată înainte) deoarece pentru frecvențe mari inductanța prezintă un obstacol din ce în ce mai mare trecerii curentului.

Hai să vă mai dau numai un mic calcul matematic elementar. Este foarte util pentru determinarea valorii frecvenței de rezonanță.

Pentru valabilitatea egalității de mai jos :

$$2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} = 0$$

trebuie ca

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

Să împărțim cei doi membri ai egalității prin $2\pi L$ și să-i înmulțim cu f . Vom obține :

$$f^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC}$$

În continuare nu mai rămîne decît să extragem rădăcina patrată, pentru a obține ceea ce se numește *formula lui Thomson* sau :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Aceasta este valoarea frecvenței de rezonanță. Este o formulă fundamentală domeniului electronicii. În continuare dacă cunoaștem pe f vom putea găsi și valoarea perioadei T , aceasta fiind după cum știm, inversul frecvenței ($T=1/f$). Știți că T este durata unei perechi de alternanțe, una pozitivă alta negativă. Perioada de rezonanță este deci egală cu :

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Acum că am examinat fenomenul rezonanței într-un circuit compus dintr-o bobină în serie cu un condensator, vă las dragii mei, și-i dau în grija nepotului meu Curiosus, să-i explice lui Ignotus, ceea ce este și cum funcționează un circuit oscilant. Mult curaj.

Convorbirea a 5-a

Circuitul oscilant. Unde electromagnetice

În această convorbire, cei doi prieteni termină studiul noțiunilor fundamentale ale electricității, analizând comportarea circuitelor oscilante. Apoi, se trece la studiul radioelectricității, examinându-se emisia și recepția undelor electromagnetice și componența circuitelor de intrare ale receptoarelor.

INCĂRCĂRI ȘI DESCĂRCĂRI

CURIOSUS : Spune-mi, dragă Ignotus, ai reușit să asimilezi explicațiile date de unchiul Radiol cu privire la rezonanță ?

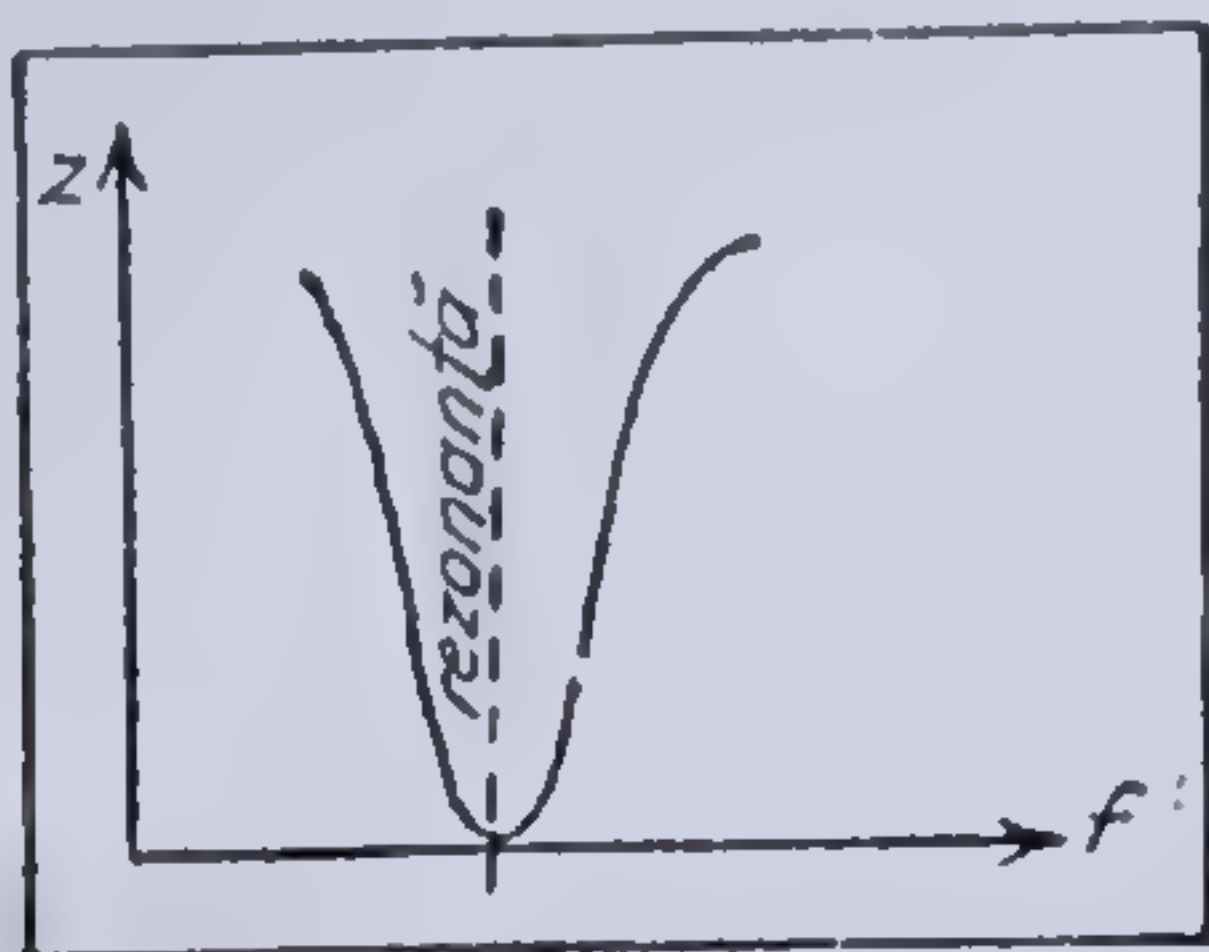
IGNOTUS : Toate problemele legate de diversele asocieri între rezistențe, bobine și condensatoare sînt destul de complexe. Pentru a le înțelege mai bine am ascultat de două ori banda magnetică înregistrată de unchiul tău și numai după aceasta pricep destul de ușor comportarea circuitului compus dintr-o bobină și un condensator, legate în serie.

Pe măsură ce frecvența tensiunii alternative care-l alimentează se apropie de valoarea sa de rezonanță, impedanța circuitului scade. La rezonanță, ea devine practic nulă, deoarece reactanța capacitivă devine egală cu cea inductivă și deci diferența dintre ele devine zero. În circuit trecerea curentului nu va mai împingea decât rezistența ohmică a acestuia, rezistență ce posedă o valoare infimă.

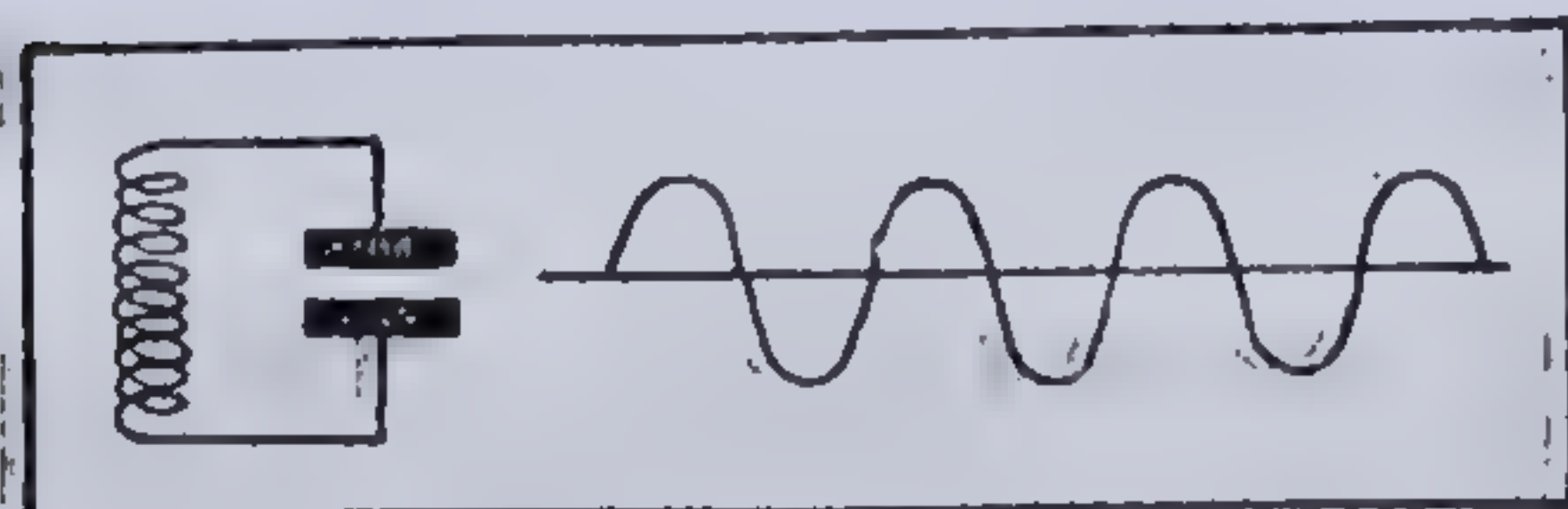
În momentul în care frecvența depășește valoarea sa de rezonanță, valoarea impedanței începe să crească din nou, deoarece crește reactanța inductivă a circuitului. Din acest moment însă, semnul impedanței totale se schimbă.

CURIOSUS : Constat cu satisfacție că ai înțeles bine fenomenul de rezonanță care anulează valoarea impedanței și prin aceasta crește la maximum intensitatea curentului.





Impedanța circuitului rezonant serie (Z) variază funcție de frecvență. Ea devine practic zero la rezonanță.



În circuitul rezonant paralel, curenții au o formă sinusoidală.

Ei acum să văd dacă ai putea ghici cum se încarcă și se descarcă un condensator dacă la armăturile lui se leagă în paralel nu o rezistență — cazul acesta l-am studiat — ci o bobină.

IGNOTUS : Îmi închipui că inductanța bobinei va împiedeca la început trecerea unei intensități mari a curentului de descărcare a condensatorului. În consecință aceasta va crește treptat. Curentul va atinge valoarea maximă în momentul în care condensatorul se va descărca complet. Dar acum din cauza inductanței bobinei, care se opune oricăror variații a curentului, valoarea intensității nu va putea fi egală cu zero, ci se va micșora încet încărcând astfel din nou condensatorul, însă cu o polaritate contrară celei inițiale.

În bobină nău naștere curenți induși care se opun trecerii curentului variabil la descărcarea condensatorului. În momentul în care curentul de descărcare se anulează, curentul indus în bobină și care este de sens contrar celui de descărcare al condensatorului continuă să circule și astfel încarcă condensatorul însă cu polarități opuse celor cu care armăturile au fost încărcate inițial.

În clipa în care curentul indus al bobinei va fi egal cu zero, condensatorul va fi din nou încărcat. Și totul va reîncepe dar în sens contrar. Astfel încât curentul va avea alternativ, când un sens, când opusul acestuia încărcând și descărcând condensatorul. Și toate acestea numai din cauza unui fel de inerție care caracterizează bobina.

CURIOSUS : Mă tot întreb, Ignotus, dacă nu cumva ai citit pe ascuns un manual de electricitate ca să-mi poți da răspunsuri atât de exacte... Așa este, curentul efectuează oscilații în ceea ce se numește un circuit oscilant. Bineînțeles, că după o



astfel de explicație vei ghici desigur și care este frecvența acestor oscilații.

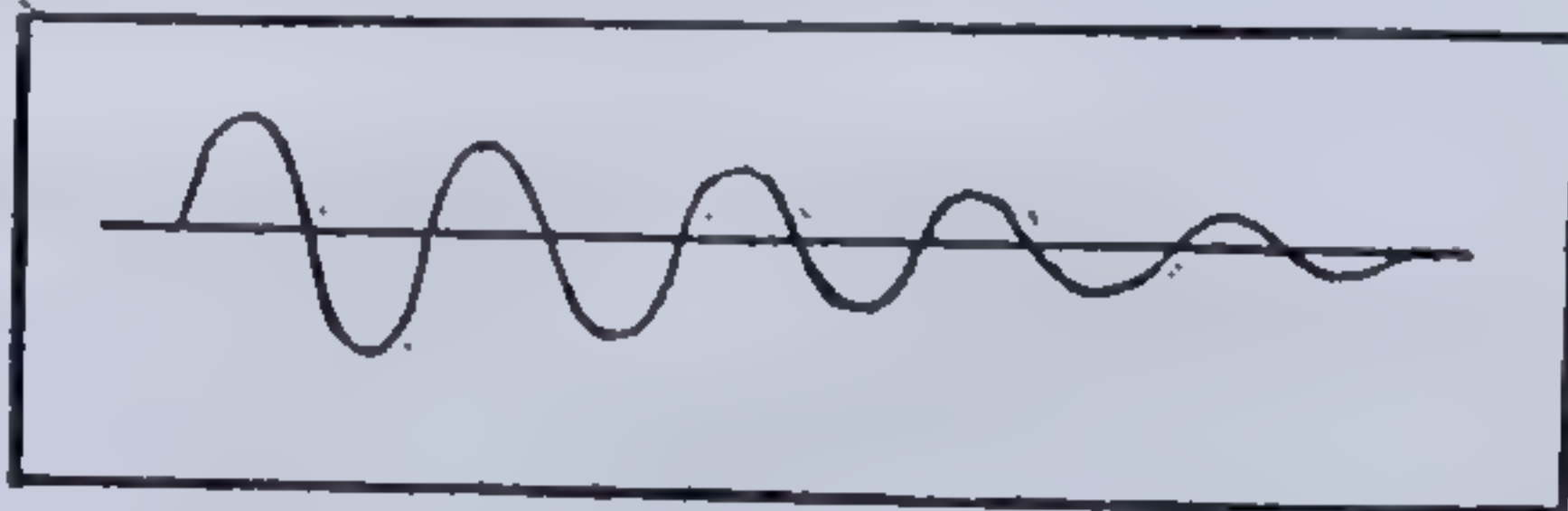
IGNOTUS : Circuitul posedă desigur o frecvență de rezonanță determinată de formula lui Thomson. De fapt numai pentru această frecvență circuitul nostru oscilant va poseda o impedanță nulă sau cel puțin redusă la valoarea rezistenței sale ohmice.

CURIOSUS : Foarte adevărat. După părerea ta, oscilațiile acestea vor exista la infinit ?

IGNOTUS : Din păcate nimic nu durează o eternitate. Rezistența ohmică, fie cât de mică, consumă totuși un pic de energie la fiecare oscilație. Astfel încât acestea o să se micșoreze încetul cu încetul, ca în final să se oprească complet.

CURIOSUS : Ai dreptate și eu nu mai pot adăuga decât că acest fel de oscilații se numesc *oscilații amortizate*. Amortizarea lor, după cum singur ai spus, se datorează numai rezistenței ohmice a circuitului și nu pot decât să te felicite pentru emiterea atîtor idei juste.

Oscilațiile curentului provocate de descărcarea condensatorului prin bobină se amortizează datorită pierderii de energie în rezistența ohmică.



ÎNTREȚINEREA OSCILAȚIILOR

IGNOTUS : Ceea ce m-a ajutat foarte mult este faptul că în cazul meu am făcut o analogie între circuitul oscilant și vechea noastră pendulă. Dacă nu o întorc la vreme, pendula se oprește, dar este suficient să deplasez limba pendulei spre una din extremitățile traiectoriei sale pentru ca oscilațiile să înceapă. Însă cu timpul aceste oscilații se micșorează progresiv din cauza rezistenței aerului. Cît privește frecvența lor, aș putea spune că este oarecum chiar frecvența de rezonanță. Ea depinde de lungimea pendulului și de masa sa.

CURIOSUS : Excelentă comparație. În concluzie, cunoști funcționarea continuă a ceasului. În acest scop, se întoarce cu cheia mecanismul ceasului al cărui resort înmagazinează astfel o cantitate de energie. La fiecare oscilație a pendulului resortul îi comunică un mic impuls care neutralizează sau mai bine zis compensează pierderea de energie datorată rezistenței aerului. Astfel ceasul merge continuu. Ce trebuie să facem

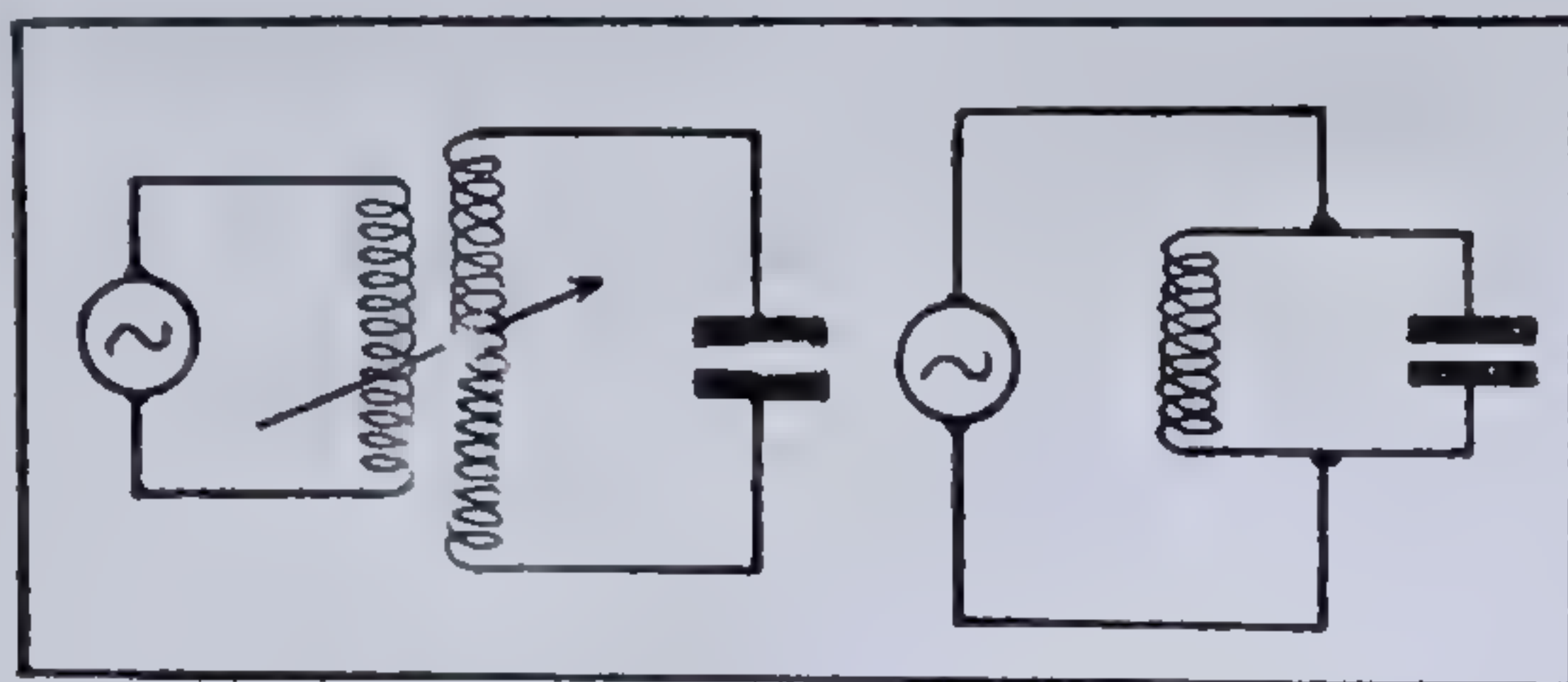


acum cu circuitul nostru oscilant astfel încît intensitatea curentului să nu scadă ?

IGNOTUS : Prin analogie cu ceasul, îmi închipui că în fiecare perioadă trebuie injectată o mică cantitate de energie electrică care să compenseze pierderea în rezistență ohmică. Dar, drept să-ți spun nu prea văd cum se poate realiza practic această operație.

CURIOSUS : Foarte simplu. Cu ajutorul fenomenului de inducție și iată cum : bobina circuitului oscilant se cuplează inductiv (principiul transformatorului) cu o altă bobină exterioară. Aceasta este parcursă de un curent a cărei frecvență este egală cu valoarea frecvenței de rezonanță a circuitului oscilant și prin inducție va injecta bobinei acestuia energia necesară pentru neamortizarea oscilațiilor. Sursa de tensiune se poate lega la armăturile condensatorului.

IGNOTUS : Îmi închipui că această sursă va trebui să furnizeze foarte puțină energie, deoarece ea trebuie să compenseze numai pierderile mici care se produc în rezistența ohmică a circuitului.



Compensarea pierderii de energie în circuitul oscilant se realizează fie prin inducție mutuală, fie prin cuplaj direct.

CURIOSUS : Intr-adevăr, valoarea curentului furnizat de sursă circuitului oscilant este foarte mică. S-ar putea spune că în comparație cu circuitul exterior, circuitul oscilant prezintă o impedanță de valoare foarte mare.

IGNOTUS : Sint foarte bucurosi că înțeleg această concluzie, deoarece unchiul tău nu ne-a vorbit nimic despre montajul în care o bobină este legată în paralel pe un condensator. Ori aceasta este exact situația în care se află circuitul nostru oscilant privit din punct de vedere al sursei de tensiune.

CURIOSUS : În concluzie, dacă impedanța rezultată din legarea în serie a unei bobine cu un condensator devine practic

nulă pentru frecvența de rezonanță, la legarea celor două componente în paralel impedanța ansamblului devine infinită la frecvența de rezonanță.

IGNOTUS : Și deci oscilațiile în circuitul paralel nu se mai amortizează ?

CURIOSUS : Nu, *amplitudinea* lor rămâne constantă. Prin amplitudine se înțelege valoarea maximă a fiecărei alternanțe. Oscilațiile neamortizate se mai numesc și *oscilații întreținute*.

IGNOTUS : Eu însumi sînt foarte bine întreținut de aceste fenomene. Dar spune-mi, te rog, ce se întîmplă în cazul în care modificăm valoarea frecvenței față de cea de la rezonanță ?

CURIOSUS : În acest caz, impedanța pe care o prezintă circuitul oscilant sursei de tensiune, scade foarte mult.



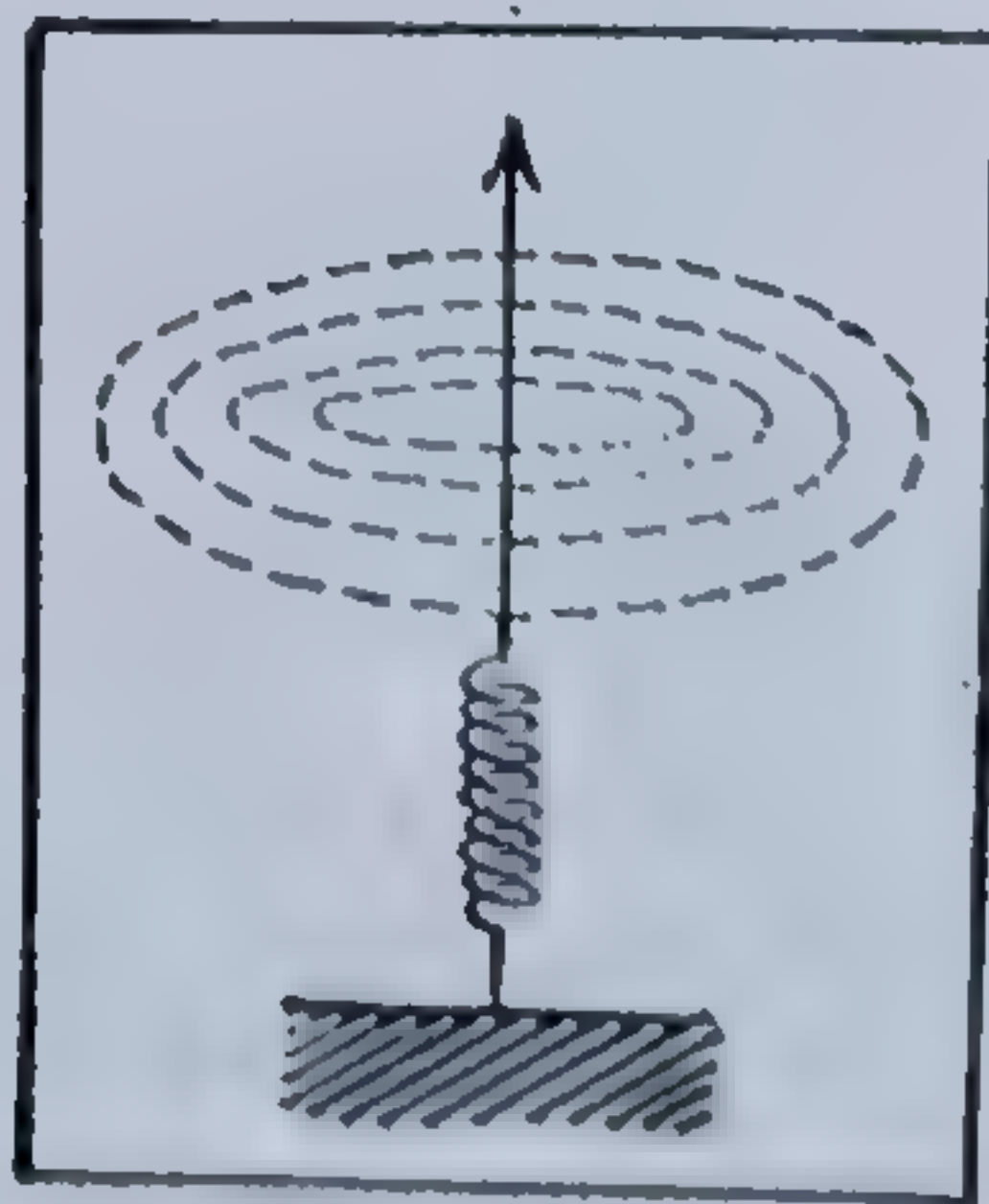
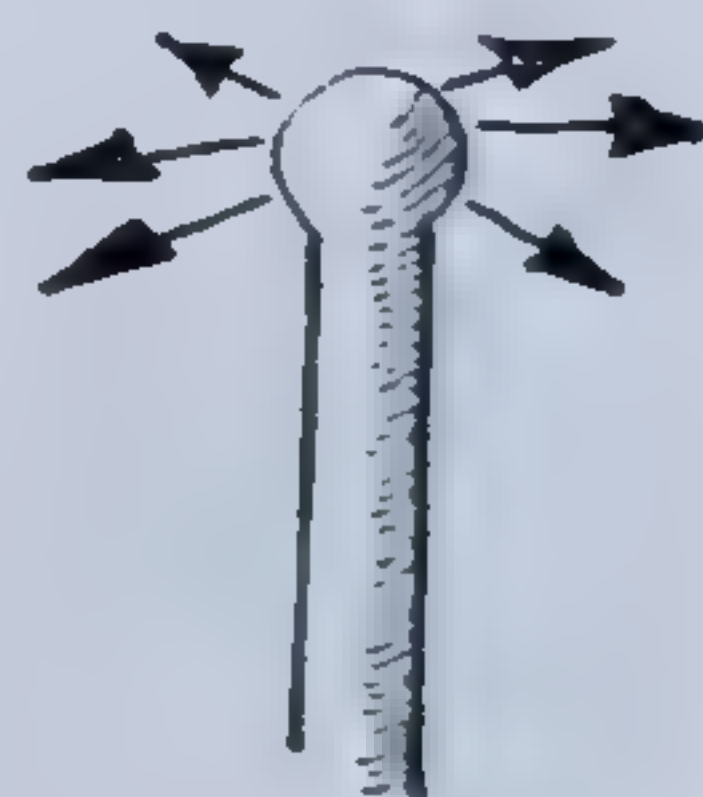
UNDE RADIOELECTRICE

IGNOTUS : Care este de fapt utilitatea practică a acestor oscilații întreținute ?

CURIOSUS : Tocmai aceste unde sînt utilizate în radioelectricitate. Ele servesc la producerea undelor electromagnetice și la recepționarea lor, fiind induse în circuite oscilante.

IGNOTUS : Cum se realizează obținerea lor ?

CURIOSUS : Foarte simplu. Sarcina de ieșire sau pe care debitează un circuit oscilant va fi o *antena de emisie*. Aceasta este compusă dintr-o masă metalică ce posedă o anumită capacitate. Astfel pentru fiecare alternanță sarcinile electrice se îngrămădesc spre acest condensator sau revin spre circuitul oscilant. În concluzie, în antenă circulă un adevărat curent alternativ.



Unde electromagnetice difuzate prin antena emițătoare.



Acest curent dă naștere în jurul său unor cîmpuri magnetice, a căror linii de forță își schimbă sensul pentru fiecare alternanță. În cazul în care aceste alternanțe se succed foarte repede, acesta fiind cazul curenților de înaltă frecvență, fiecare cîmp creiat de o alternanță va împinge înspre exterior pe cel creiat de alternanța precedentă. Și iată deci felul în care iau naștere undele electromagnetice, unde ce se propagă cu viteza luminii, adică cu 300.000 kilometri pe secundă.

IGNOTUS : În ce direcție merg ?

CURIOSUS : Dacă antena emițătoare este verticală, undele se propagă uniform în toate direcțiile. Raza cercului undelor electromagnetice crește tot cu prodigioasa viteză a luminii. Se pot realiza însă și antene directoare, la care un anumit dispozitiv concentrează undele emițindu-le în fascicule dirijate.

IGNOTUS : De fapt după cum văd, aci se procedează în același mod ca și la iluminare. Putem avea o lampă care-și proiectează lumina uniform în toate direcțiile ; în același timp însă, lumina poate fi orientată numai într-o singură direcție, ca în cazul farurilor automobilului.



GAMA DE UNDE

CURIOSUS : Analogia pe care ai făcut-o nu conține nimic surprinzător, deoarece undele radioelectrice și undele luminoase sînt de natură electromagnetică. Ceea ce le distinge este numai frecvența lor.

Și, că tot veni vorba de frecvență, să știi că unitatea sa, *perioada pe secundă*, se mai numește și hertz, simbolul său fiind notat cu Hz. În general, în radio, se lucrează cu kilohertzi (kHz) sau mii de hertzi, cu megahertzi (MHz) sau milioane de hertzi și chiar cu gigahertzi (GHz) sau miliarde de hertzi.

Undele electromagnetice ale luminii au o frecvență cuprinsă între 385 și 790 milioane de megahertzi. Frecvențele utilizate în radioelectricitate sînt mai puțin înalte, fiind cuprinse între 30.000 Hz și 3.000 MHz. Ai putea calcula lungimile de undă corespunzătoare acestor două valori ?

IGNOTUS : Îmi închipui că așa este denumită distanța care separă două unde emise una după alta. După cum știm, ele se propagă cu 300.000 km/s. În acest caz distanța pe care o parcurge o undă pînă în momentul emiterii celei următoare este egală deci cu această viteză înmulțită cu timpul care se scurge între emiteria celor două unde sau cu alte cuvinte cu perioada curentului alternativ care generează aceste unde. Dar perioada este inversa frecvenței.



CURIOSUS : Foarte bine, dragă Ignotus. În concluzie, dacă notăm perioada cu T , ea fiind inversa frecvenței o vom afla ușor prin formula $T = 1/f$. Lungimea de undă λ (litera grecească lambda) va fi deci egală cu :

$$\lambda = 300\,000\,000 \times T = \frac{300\,000\,000}{f} \text{ (metri)}$$

IGNOTUS : În aceste condiții dacă frecvența este de 30.000 Hz, lungimea de undă va fi egală cu 10 kilometri. Iar la extremitatea cealaltă, pentru o frecvență de 3.000 MHz, undele vor avea lungimea de numai 10 cm.

CURIOSUS : Calculele tale sînt exacte. Aș mai vrea să adaug că se utilizează *unde lungi* a căror lungime de undă este superioară valorii de 1.000 metri, *unde medii* cu o λ cuprinsă între 1.000 și 100 metri și în sfîrșit, *unde scurte* pentru care λ este mai mică de 100 m. Se mai disting undele decametrice, adică cu o lungime de ordinul zecilor de metri și undele metrice. În sfîrșit, există și *unde ultracurte* cu o lungime medie inferioară metrului, cum ar fi de exemplu undele decimetrice și undele centimetrice, ca să nu-ți mai spun că s-a ajuns în prezent să se utilizeze și undele milimetrice.

În cazul dirijării undelor cu ajutorul reflectoarelor, vezi undele dirijate de care am vorbit mai sus, se utilizează reflectoare care lucrează numai cu unde scurte sau ultracurte, deoarece foarte greu se realizează reflectoare care să posede diametre de ordinul kilometrilor.

RECEPȚIONAREA UNDELOR

IGNOTUS : Pînă acum am vorbit numai de obținerea și emiteria undelor, dar care este modul de recepție a acestora ?

CURIOSUS : Cu ajutorul unui colector de unde. El poate fi constituit dintr-o antenă de recepție, adică de un conductor care fiind parcurs de undele electromagnetice le captează. Ele induc în acesta curenți alternativi. Undele trec foarte ușor prin corpurile izolatoare. În schimb în cazul în care parcurg corpurile conductoare ele pierd mai mult sau mai puțin din energia pe care o posedă.

IGNOTUS : Dragul meu Curiosus, începe să-mi fie frică. Corpul omenesc este un bun conductor de electricitate. Prin aceasta înseamnă că toate emițătoarele de radio și televiziune induc mulți curenți în corpul meu ?

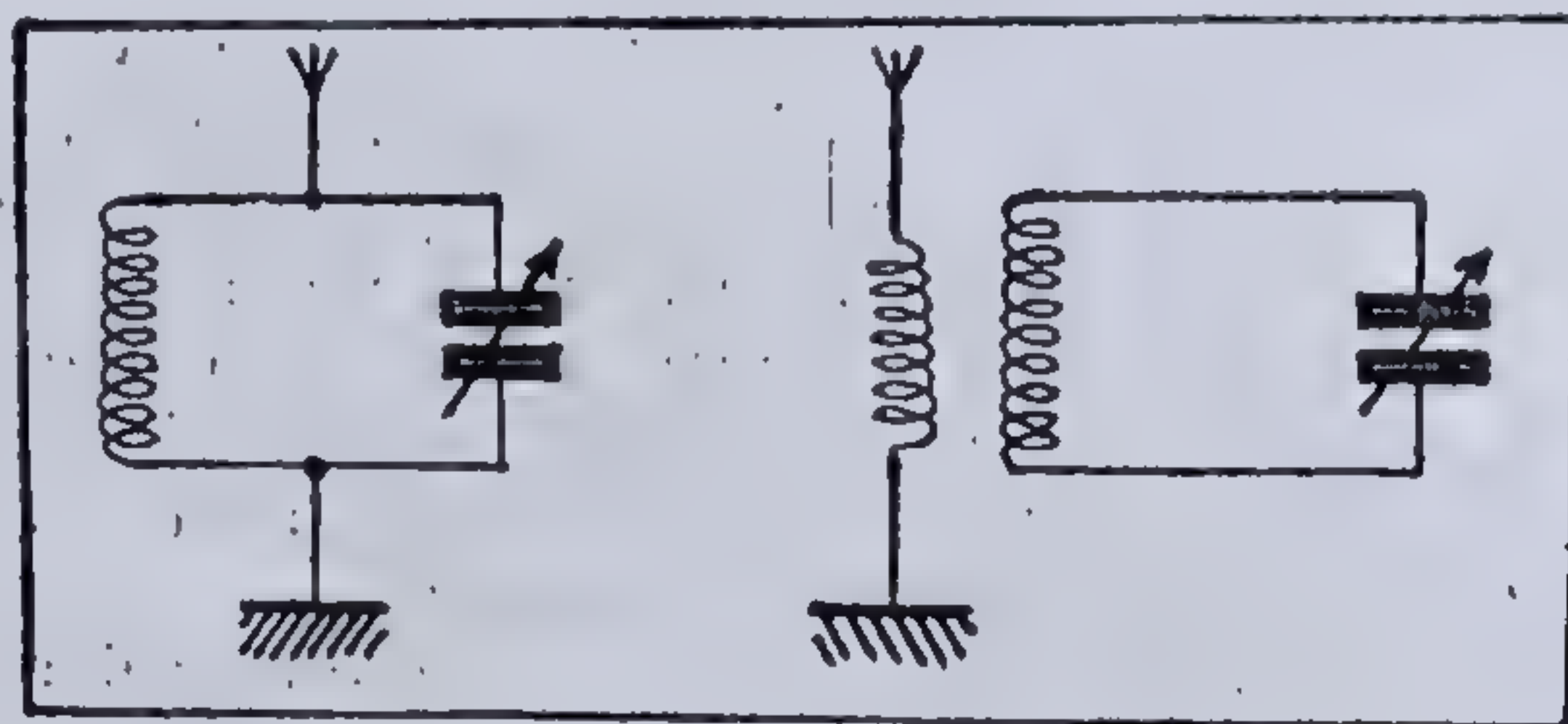




CURIOSUS : Bineînțeles. Dar fii liniștit : acești curenți posedă intensități atât de slabe încât în nici un caz nu pot să-ți pricinuiască un rău.

IGNOTUS : Cu atât mai bine. Explică-mi totuși, te rog, cum se comportă acești curenți în receptoarele de sunet sau de imagini ?

CURIOSUS : Și în aceste cazuri, curentul pe care undele electromagnetice îl induc în antenă, este foarte slab. Antena este conectată fie direct, fie prin inducție în circuitul oscilant de intrare al receptorului. Dacă acest circuit este *acordat* pe frecvența curentului captat, fenomenul de rezonanță dă naștere în circuitul oscilant respectiv unor tensiuni destul de mari.



La recepție, circuitul de acord poate fi conectat fie direct între antenă și masă, fie prin inducție cu o bobină parcursă de semnalele captate.

Până acum am vorbit numai de una din extremitățile antenei, cea care captează undele, cealaltă este conectată la pământ printr-o priză sau conexiune de masă. Astfel undele electromagnetice fac ca din pământ să urce și să coboare sarcini electrice, de care acesta nu duce nici un fel de lipsă. Același lucru se întâmplă și cu antenele emițătoare.

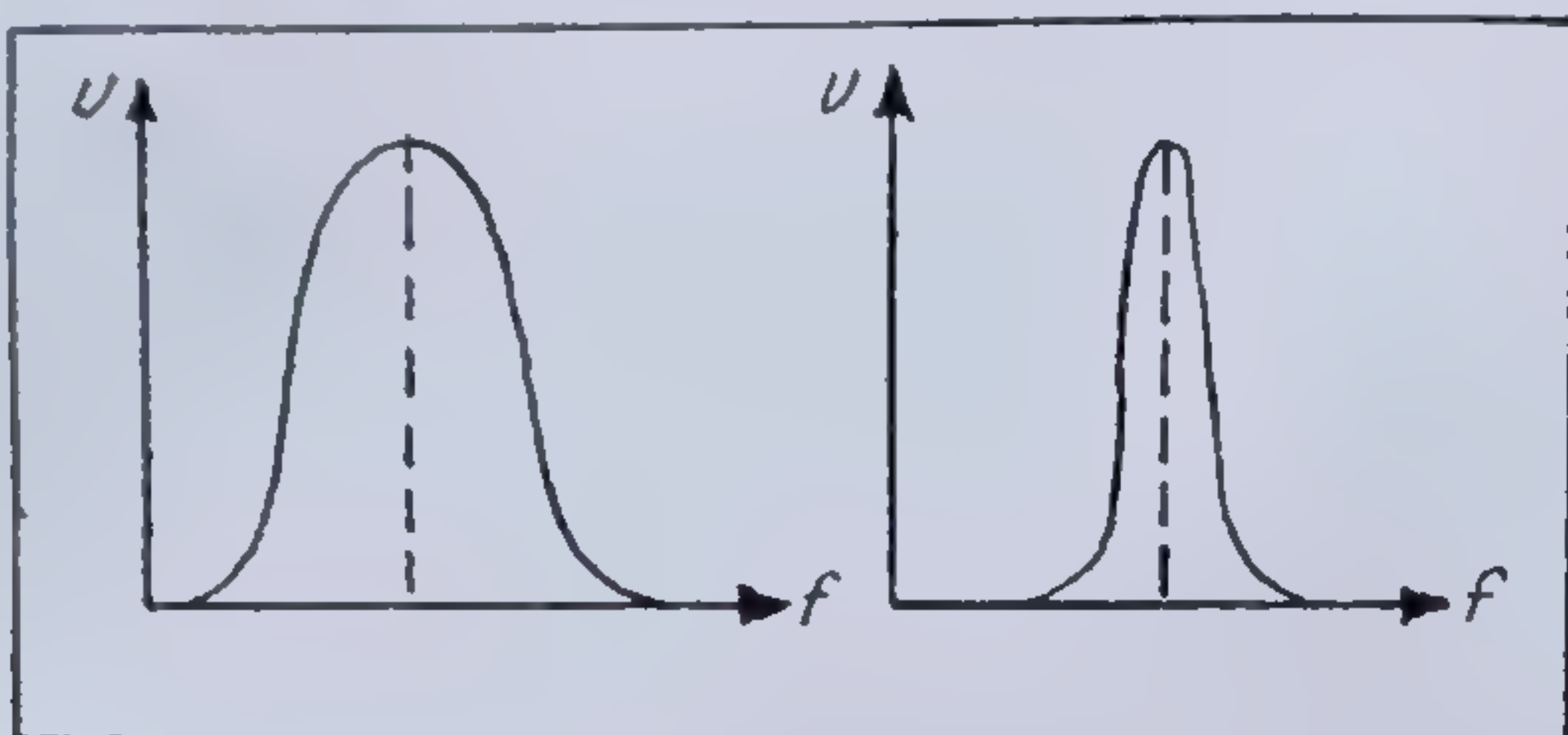
Dacă circuitul oscilant este conectat direct între antenă și pământ iar acordul său este bine reglat pe frecvența de rezonanță, valoarea impedanței sale este ridicată și, din această cauză, căderea de tensiune ce se obține la bornele sale este ea însăși ridicată.

ACORD ȘI SELECTIVITATE

IGNOTUS : Ce se întâmplă în cazul în care circuitul oscilant nu este perfect acordat pe frecvența de rezonanță ?

CURIOSUS : În acest caz, impedanța sa scade, ceea ce are ca urmare scăderea în consecință a tensiunii la bornele acestuia.

Tocmai acest fenomen stă la baza a ceea ce numim *selectivitatea circuitului* sau cu alte cuvinte aptitudinea sa de a recepționa cât mai bine frecvențele pe care este acordat.

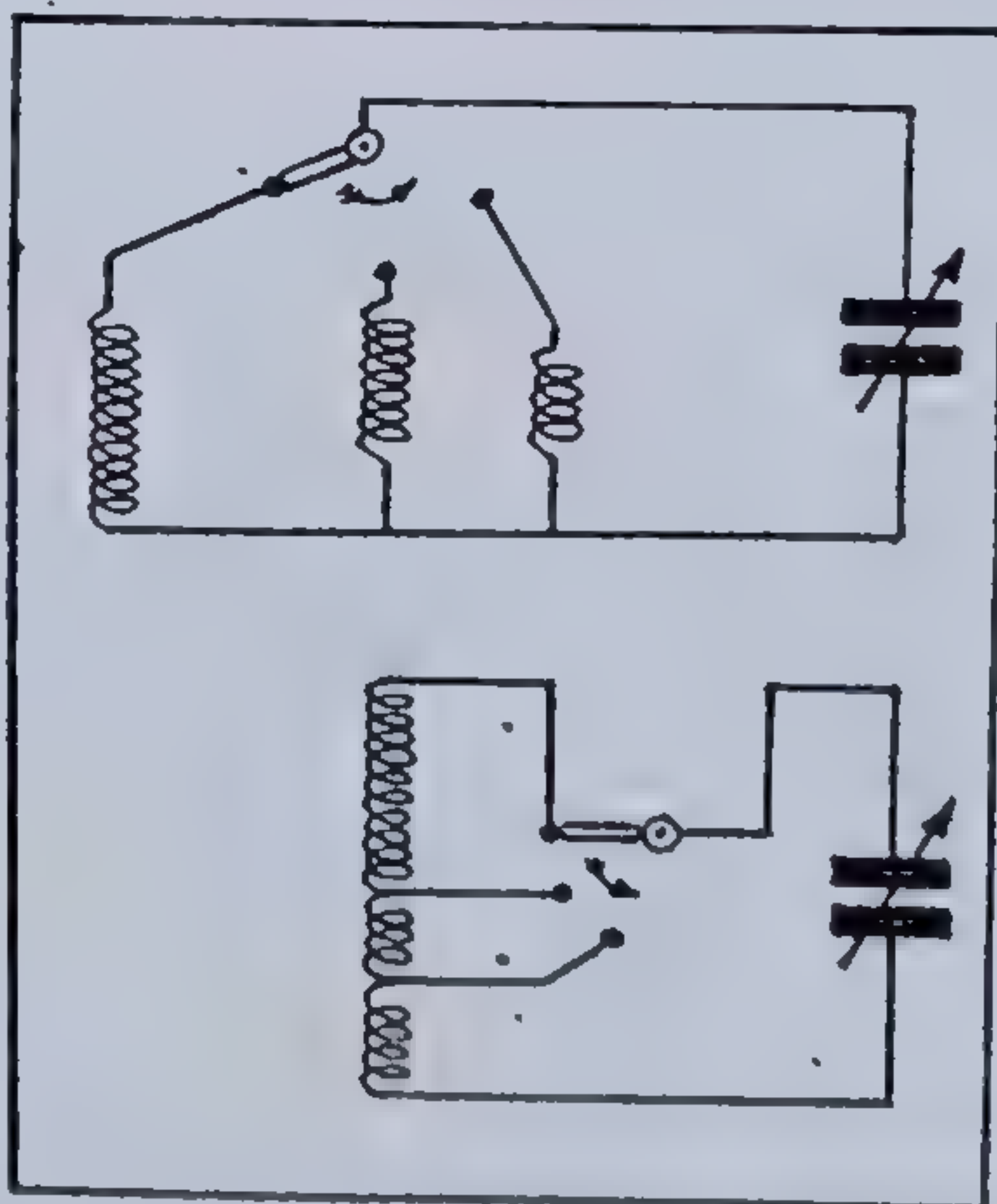


Curbe care indică dependența tensiunii U de la bornele circuitului oscilant de frecvența semnalelor f ;

Selectivitatea slabă (stînga);
Selectivitatea bună (dreapta).

Curba de selectivitate pentru un circuit oscilant oarecare se poate ridica foarte ușor prin măsurarea la extremitățile (sau bornele) sale a tensiunii ce ia naștere pentru diverse frecvențe ale curenților induși. Sau mai pe scurt, curba indică variația tensiunii în funcție de frecvență.

IGNOTUS: Ce anume factor determină forma acestei curbe? Prin aceasta înțeleg lărgimea sau îngustimea sa. Căci, după părerea mea, cu cât curba este mai îngustă sau mai ascuțită, cu atât circuitul este mai selectiv.



Trecerea de la o gamă de unde la alta se obține prin schimbarea valorilor inductanțelor;

Trei bobine distincte (sus);

Comutatorul permite legarea succesivă în paralel pe condensator a celor trei bobine legate în serie (jos).

CURIOSUS : Nu te înșeli. Ceea ce determină gradul de selectivitate este *factorul de amortizare* a circuitului, factor a cărui valoare poate fi mai mică sau mai mare și care depinde esențial de rezistența ohmică și de eventualele pierderi de energie care se produc în circuit.

IGNOTUS : Cum putem regla circuitul oscilant pe frecvența de rezonanță a emisiunii pe care dorim să o recepționăm ?

CURIOSUS : Se spune că se *acordă* circuitul pe frecvența respectivă. Acest lucru se poate obține în două moduri : fie variind inductanța bobinei circuitului oscilant, fie valoarea capacității condensatorului.

Aceasta din urmă (capacitatea) poate fi modificată foarte ușor și continuu prin utilizarea unui condensator variabil. Aceasta permite obținerea acordului perfect pe frecvența dorită.

În ceea ce privește bobina, valoarea inductanței sale poate fi modificată dar în mod discontinuu și acest mod se folosește numai în trecerea de la o gamă de unde la alta ca de exemplu, de la gama de unde lungi în gama de unde scurte. În acest scop receptorul este prevăzut cu un comutator care permite conectarea în circuitul oscilant a diverselor prize pe care le posedă o bobină de valoare mare. În acest fel din întreaga bobină se utilizează diverse porțiuni care corespund valorilor de inductanțe necesare diverselor game de unde.

În trecut se utilizau bobine cu variație continuă a inductanței. Se realizau astfel, de exemplu, diverse *variometre* compuse din două bobine legate în serie și care se puteau roti una în interiorul celeilalte (vezi figura) astfel încât se obținea variația continuă a valorii inductanței lor mutuale.

IGNOTUS : De înțeles am înțeles. Am priceput chiar și modul în care se emit și se recepționează undele. Dar cum se pot transmite sunetele și imaginile ? Și mai este ceva nelămurit. Nu-mi pot da seama cum se reușește reproducerea lor prin recepție.

CURIOSUS : Întrebarea ta necesită o mulțime de explicații. Însă dat fiind cunoștințele pe care le-ai acumulat, unchiul meu și cu mine vom putea trece la expunerea acestor probleme. Toate problemele de electricitate pe care le-ai studiat îți vor ajuta mult la asimilarea celor de electronică.



Profesorul Radiol descrie

Emițătoarele și receptoarele de radiodifuziune

Cum pot fi transformate sunetele în semnale electrice? Cum se înglobează aceste semnale în undele electromagnetice? Cum sînt recepționate, selecționate și amplificate undele? Cum se extrag din ele semnalele sonore și cum se reproduc sunetele inițiale? Toate acestea sînt explicate fără a intra în amănuntele schemelor electronice.

Ascultînd ultima voastră convorbire, am constatat că ați pătruns destul de adînc în domeniul radiotehnicii.

Fără a intra în amănunte, vreau să încerc să-ți explic principiile fundamentale ale acestei tehnici.

UNDELE SONORE

Undele electromagnetice stabilesc legătura dintre emițător și receptoare. Tu, dragă Ignotus, vrei să știi cum transmit aceste unde sunetele și imaginile:

Un curent de înaltă frecvență reprezentat prin curba numită *sinusoidă* nu transportă nici un fel de informație. Alternanțele sinusoidei au aceeași amplitudine și frecvență constantă. Undele de înaltă frecvență produse de acest curent sînt perfect uniforme.

Emise cu întreruperi, uneori cu o durată foarte scurtă — ceea ce ar corespunde unui punct — alteori cu o durată mai lungă, corespunzătoare unei linii, aceste unde pot transmite literele alfabetului Morse. Așa se procedează în telegrafia fără fir.

Vreau să-ți vorbesc acum despre acel principiu al radiofoniei pe care se bazează transmiterea sunetelor. Nu știu în ce

măsură cunoști noțiunile elementare de acustică. Să lămurim deci, ce este sunetul.

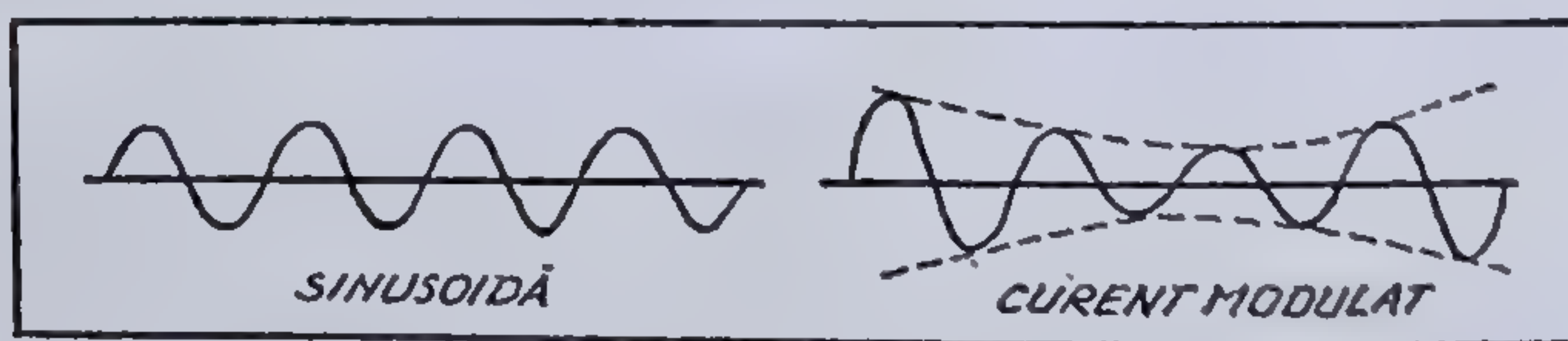
Sunetul se prezintă sub forma unei succesiuni de unde care se propagă în aer cu viteza de 340 de metri pe secundă. Ele pot lua naștere de exemplu, prin vibrația coardelor noastre vocale (acest fenomen se produce acum, când vorbesc) sau prin vibrația coardelor instrumentelor muzicale. În general, undele sonore pot fi produse de toate fenomenele care provoacă alternativ comprimarea și destinderea aerului.

Frecvența vibrațiilor trebuie să fie cuprinsă, pentru sunetele ce se aud, între 16 și 20 000 de perioade pe secundă. Această gamă cuprinde toate sunetele, de la cele mai grave, a căror frecvență este foarte coborâtă, pînă la cele mai ascuțite. Este interesant că, pe măsură ce înaintăm în vîrstă, capacitatea noastră de a percepe sunetele mai ascuțite scade, astfel că limita superioară a frecvențelor pe care le auzim coboară la 15 000 sau chiar la 12 000 de perioade pe secundă.

Fenomenul se datorează scăderii elasticității membranelor din urechile oamenilor în vîrstă. Aceste membrane vibrează sub acțiunea undelor sonore, iar vibrația lor se transmite nervilor acustici și crează în creier senzația de sunet.

Observi probabil, că există o anumită analogie între emisia și recepția undelor radio, pe de o parte și transmiterea sunetelor, pe de altă parte.

Să vedem acum, în ce mod pot fi transportate sunetele, cu ajutorul undelor electromagnetice. Pentru aceasta, va trebui să transformăm întâi sunetele în semnale electrice și să le înglobăm apoi în curentul de înaltă frecvență care generează undele.



Curentul modulat are o formă sinusoidală.

Curentul care se obține la recepție este, în general, foarte mic. El trebuie să fie supus în primul rînd unei operații de întărire, numită amplificare. În continuare, trebuie să se extragă semnalele sonore care urmează să fie, la rîndul lor, amplificate. După amplificare, ele vor fi reconvertite în unde sonore.

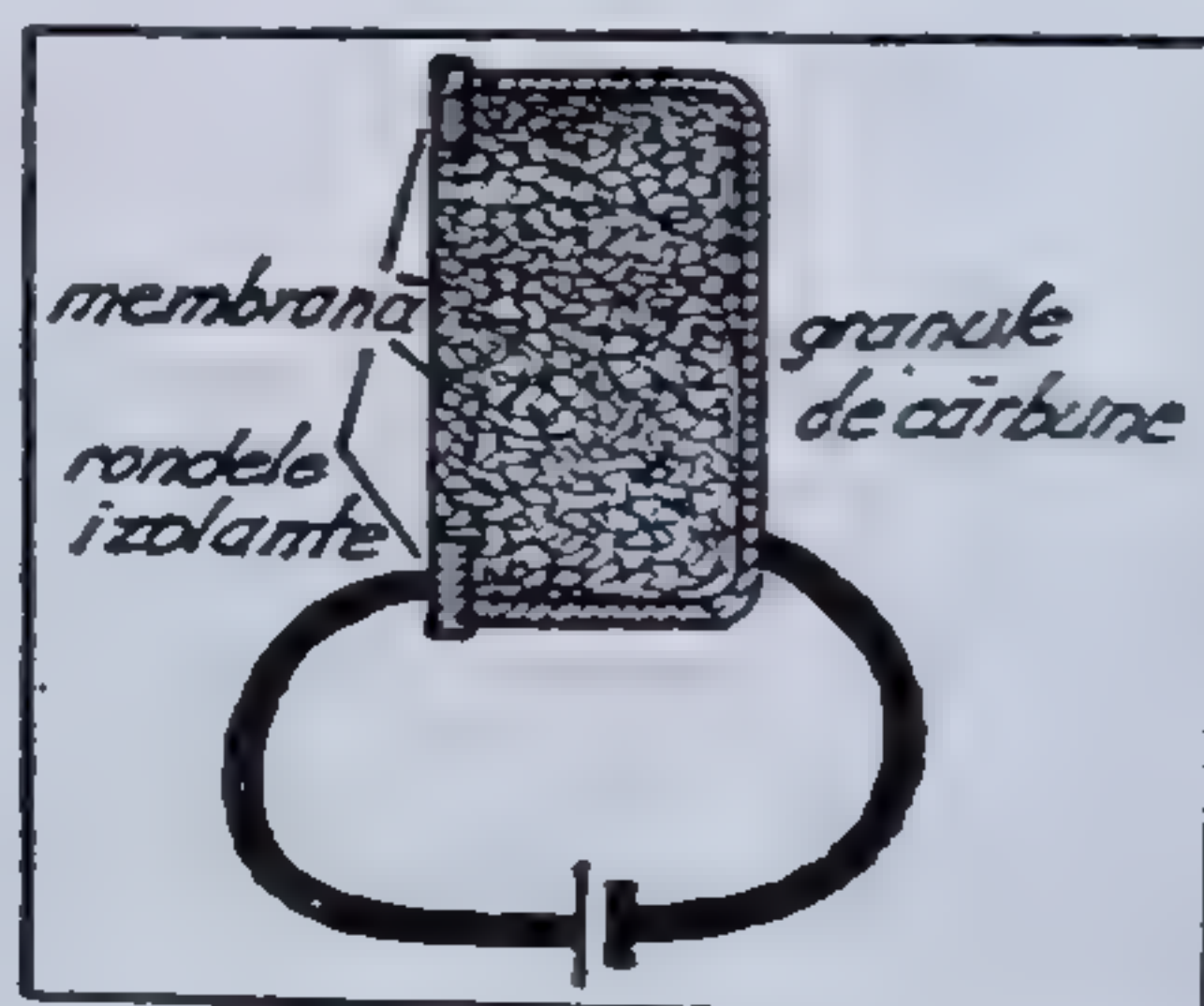
Cum se realizează toate aceste operații? Nu am timp să ți le explic amănunțit pe toate, dar mă voi strădui să ți le descriu în linii mari.

DIVERSE MICROFOANE

Să vedem, mai întâi, cum se transformă sunetele în semnale electrice. După cum știi, în acest scop se folosesc *microfoanele*. Indiferent de principiul său de funcționare, un microfon conține o membrană elastică care vibrează sub acțiunea undelor sonore. Observi deci că microfonul este un fel de ureche electrică.

Pentru ca vibrațiile să fie transformate în curenți sau tensiuni electrice variabile, mișcările membranei trebuie să acționeze fie asupra unei rezistențe, fie asupra unei bobine, fie asupra unui condensator.

Microfonul din aparatele telefonice aparține primei categorii. Interiorul unei capsule metalice, căreia membrana metalică îi servește drept capac, este umplut cu granule de cărbune. Sub presiunea variabilă a membranei, rezistența granulelor variază, scăzând la fiecare comprimare și crescând când membrana nu mai presează.

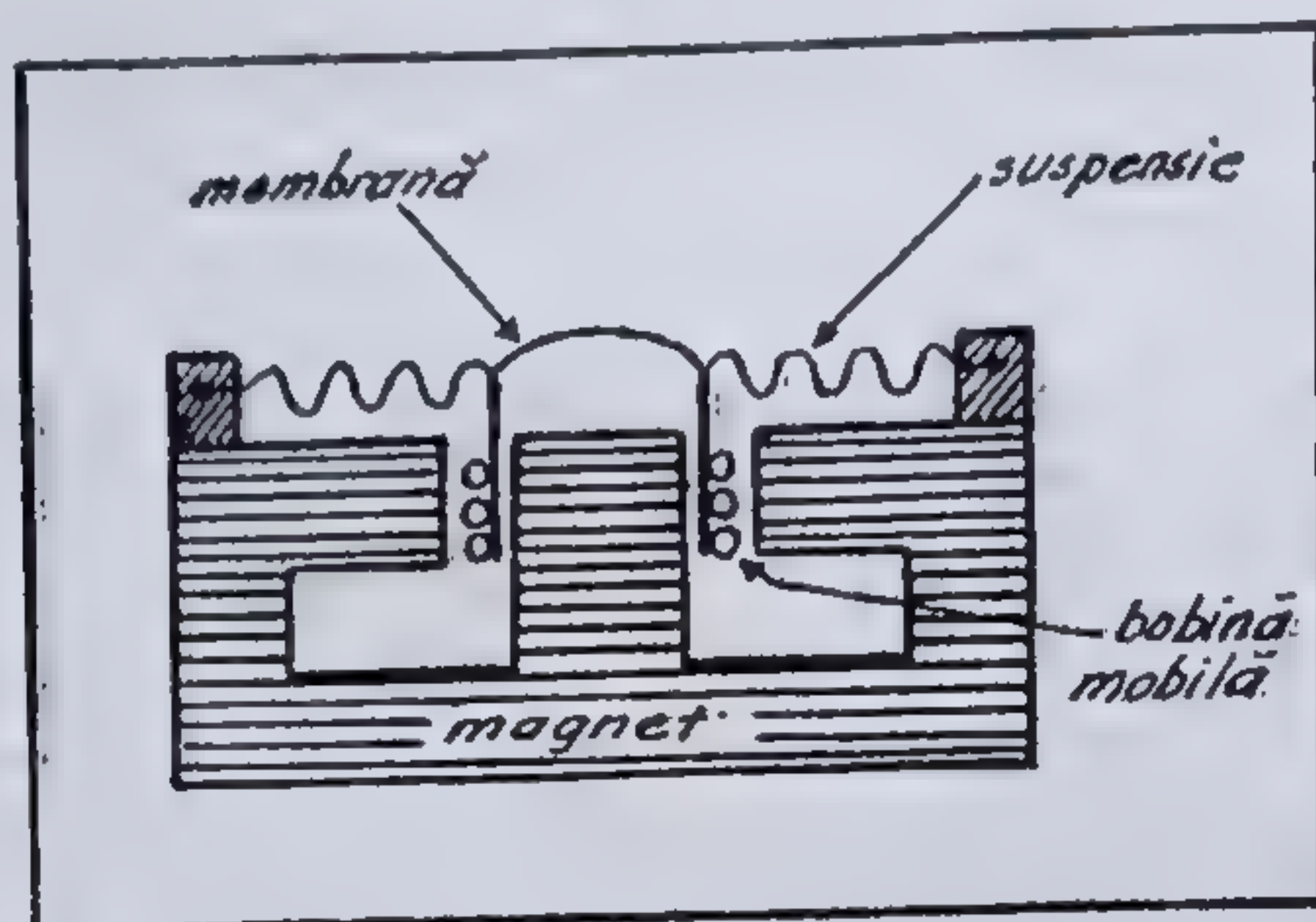


Microfon a cărui rezistență electrică variază sub acțiunea undelor sonore.

Dacă vom aplica o tensiune între membrană și capsulă, vom obține un curent a cărui intensitate variază în ritmul undelor sonore și este proporțională cu amplitudinea lor.

Se mai poate construi un microfon, fixînd de membrană o bobină mică așezată în circuitul unui magnet permanent inelar. *Microfonul dinamic* astfel construit este foarte fidel și foarte sensibil. Înțelegi desigur că în bobina care întretaie, în mișcarea ei, liniile de forță ale cîmpului magnetic, va lua naștere un curent care reproduce perfect sunetele.

În sfîrșit, putem face să varieze, sub acțiunea undelor sonore, capacitatea unui *microfon electrostatic*. Acest tip de microfon este alcătuit dintr-o membrană extrem de subțire, așezată foarte aproape de un electrod (adică un conductor)

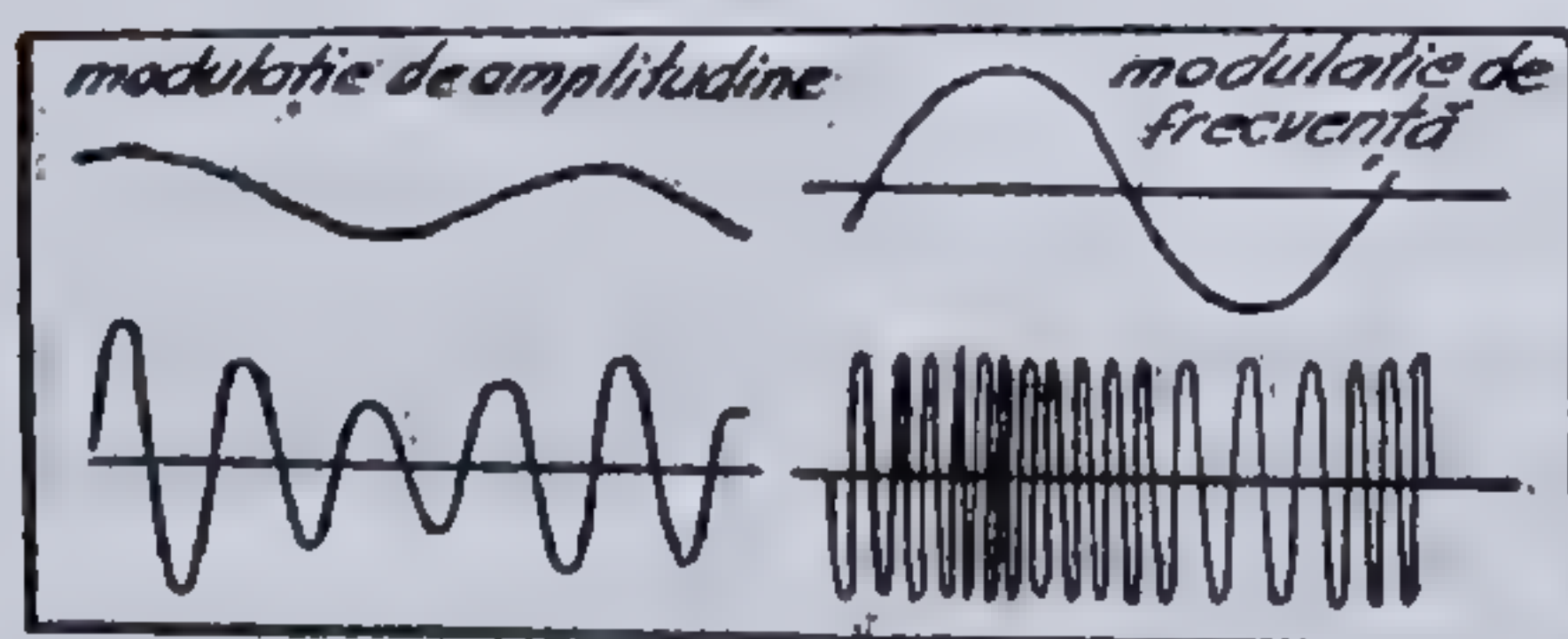


Microfon dinamic în care o bobină vibrează în câmpul unui magnet permanent.

plan, paralel cu ea. Vibrațiile membranei, produse de undele sonore, determină variații ale capacității de câteva zeci de picofarazi dintre membrană și electrodul plan. Pe armăturile acestui condensator se aplică o tensiune de câteva sute de volți. Ai înțeles desigur, că variațiile capacității dau naștere unor curenți de încărcare și de descărcare care reproduc cu fidelitate sunetele.

SCHEMA GENERALĂ A LANȚULUI DE EMISIE

Oricare ar fi tipul de microfon utilizat, el ne permite să obținem un curent de *audiofrecvență* (se folosește și termenul *joasă frecvență*) care va *modula* curentul de înaltă frecvență care — la rîndul lui — va da naștere undelor.

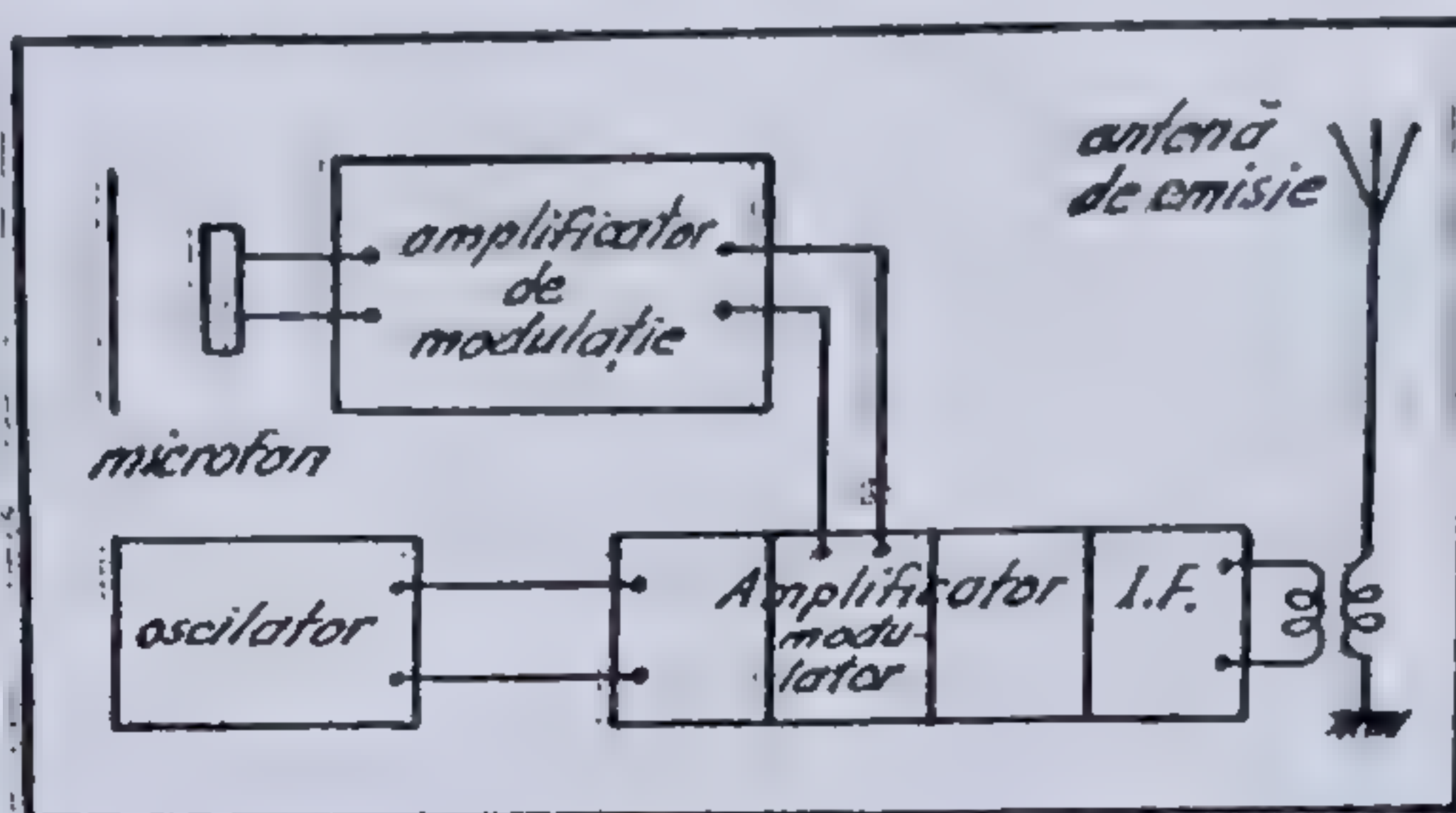


sus — tensiunile modulatorie, jos — curentul de înaltă frecvență modulat în amplitudine sau în frecvență.

A modula înseamnă a modifica, în conformitate cu forma curentului de joasă frecvență, una din cele două caracteristici esențiale ale curentului de înaltă frecvență: amplitudinea sau frecvența. Vei trage deci concluzia că există două sisteme diferite de emisie a programelor de radiodifuziune: cu *modulație de amplitudine* și cu *modulație de frecvență*.

În primul caz, frecvența curentului care produce undele rămâne constantă și variază doar amplitudinile diverselor perioade.

Structura unui emițător radio.



În modulația de frecvență, amplitudinea curentului de înaltă frecvență este cea care rămâne constantă ; în schimb frecvența lui variază, mai mult sau mai puțin, în jurul unei valori medii.

Curentul modulat este amplificat, înainte de a fi trimis în antena de emisie, în care produce undele purtătoare care transportă sunetul.

Sucesiunii tuturor acestor elemente, de la microfon până la antena de emisie, i se mai spune uneori și *lanț de emisie*.

STRUCTURA RECEPTOARELOR

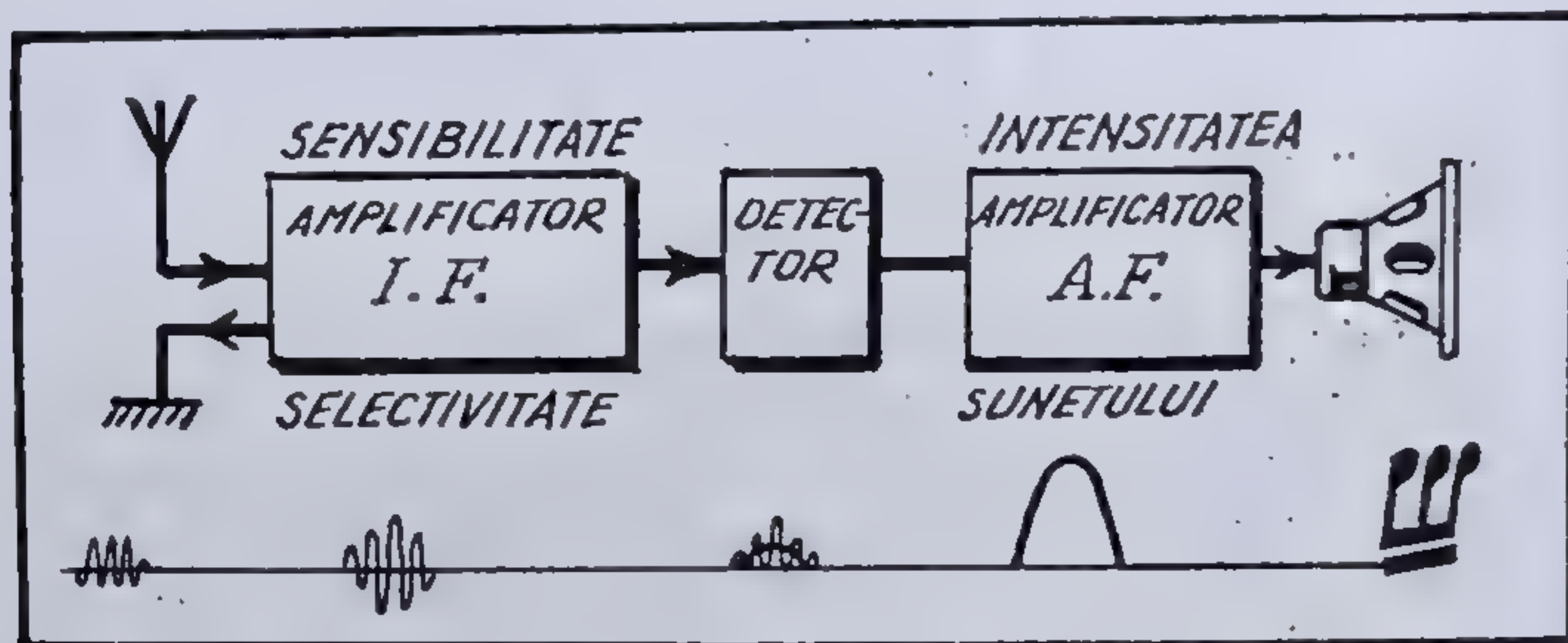
Urmărind undele în calea lor, vom ajunge, împreună cu ele, la receptoare. Acolo, în antenele de recepție, undele noastre dau naștere unui curent care are aceeași formă cu cel din antena de emisie, dar este mult mai mic. Înțelegi, cred, că puterea emițătorului, care poate ajunge la sute de kilowați în cazul stațiilor mari de radiodifuziune, se distribuie în spațiu pe sute și chiar pe mii de kilometri, în toate direcțiile. Deci colectorul tău de unde va căpăta doar o energie infimă. Fac excepție numai cei care locuiesc în vecinătatea unui emițător și — după câte știu — tu nu ești în această situație.

Deci, în primul rând, trebuie amplificat curentul recepționat. Și numai un anumit curent, căci în antenă se induc curenți produși de undele unui mare număr de emițătoare.

Pentru a selecționa curentul pe care vrei să-l asculți, va trebui să profiți de selectivitatea circuitului de intrare, acordându-l pe frecvența emițătorului dorit.

În general în partea de IF (înaltă frecvență) a receptorului se folosesc mai multe circuite acordate pentru a asigura o selectivitate bună.

Cînd curentul este amplificat destul, se trece la extragerea curentului de AF (audiofrecvență) care l-a modulat. În acest scop se utilizează un circuit demodulator. Pentru curentul modulat în amplitudine se folosesc circuite numite *detectoare*. Pentru modulația de frecvență se recurge la *demodulatoare*.

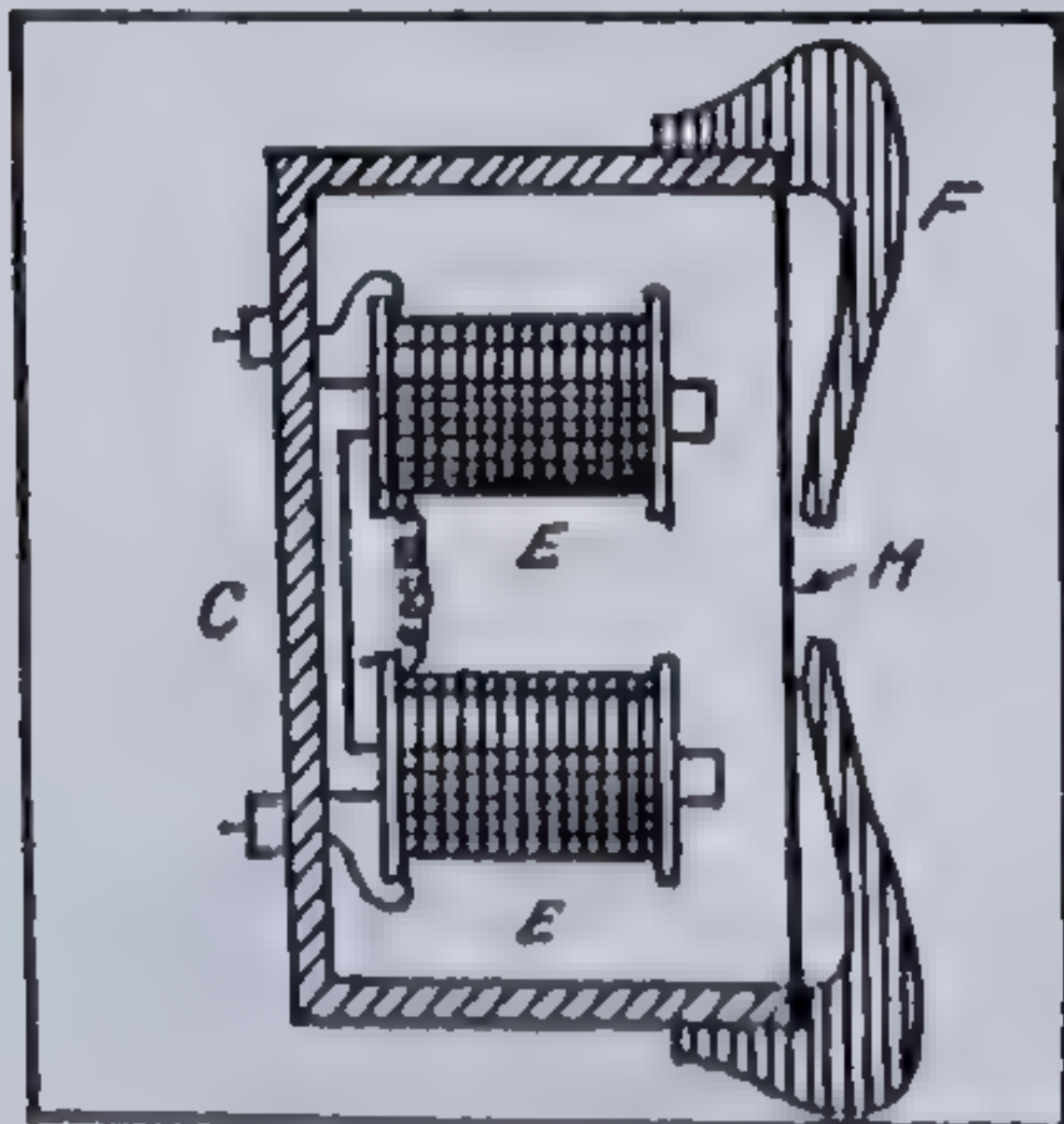


Structura generală a unui radioreceptor și forma curenților în diferitele elemente care îl compun.

După ce se reconstituie curentul de AF, este necesar să-l amplificăm, înainte de a-l transforma din nou în sunete.

CĂȘTI ȘI DIFUZOARE

Această ultimă operație se face cu ajutorul unor *căști*, dacă vrei să asculți singur fără să-ți deranjezi vecinii, sau cu ajutorul unui *difuzor*, dacă ești generos și vrei să oferi și celor din jur posibilitatea să asculte.



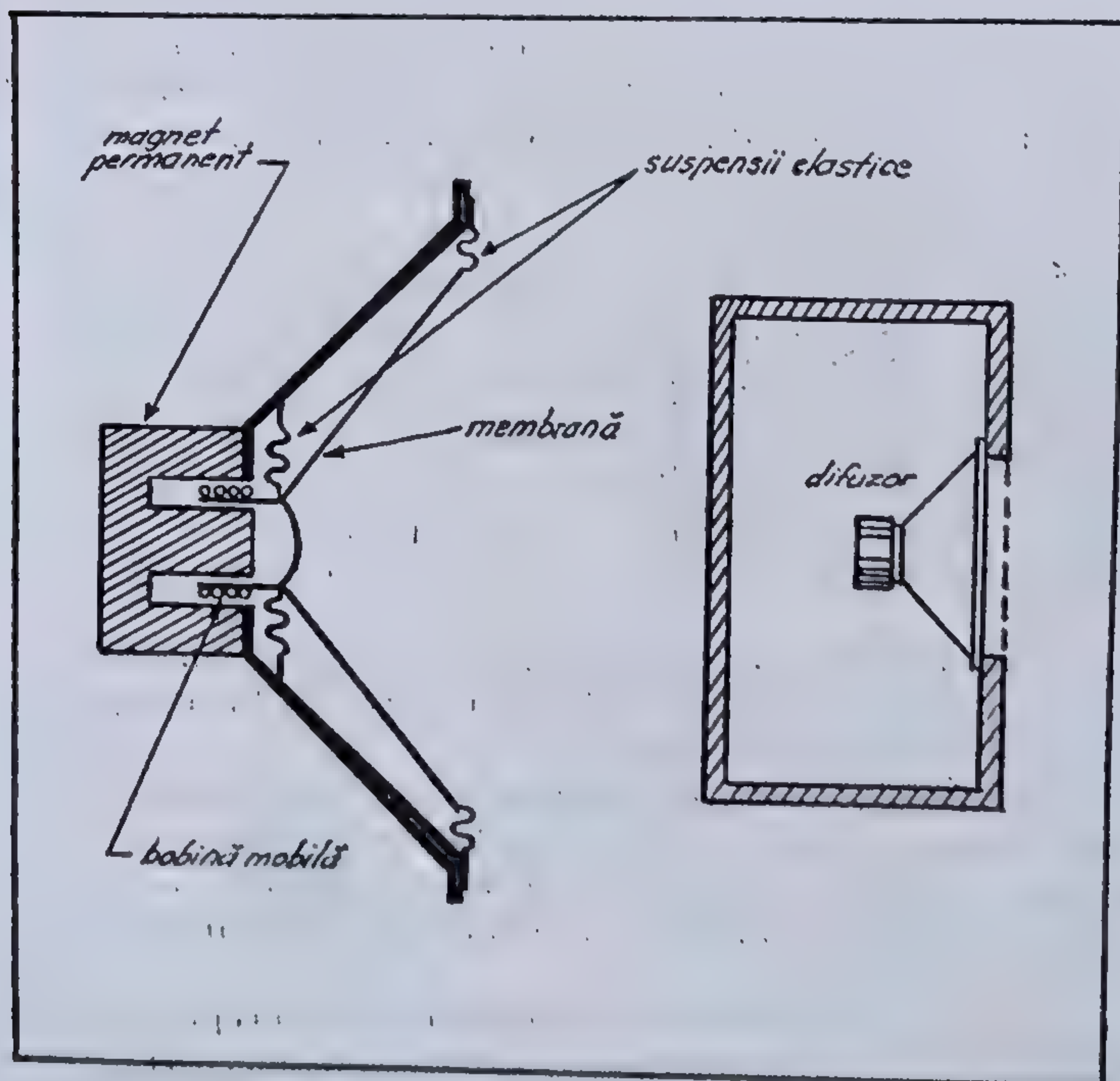
Casca telefonică :

E — electromagneți ; C — cutia capsulei ;
M — membrană ; F — capac care fixează
membrana pe capsulă.

Cele mai răspândite căști sînt cele electromagnetice. O astfel de cască este compusă dintr-o membrană de oțel așezată în fața unui electromagnet. Cînd bobinajul electromagnetului este străbătut de curentul de audiofrecvență, membrana vibrează și produce unde sonore.

Pînă nu de mult, difuzoarele se bazau pe același principiu ca și casca pe care ți-am descris-o. În fața membranei se fixa o pîlnie de formă aproximativ conică. Pîlnia avea rolul de a dirija undele sonore.

Astăzi se folosesc peste tot *difuzoarele electrodinamice* al căror principiu de funcționare este similar cu cel al microfoanelor dinamice. Pe o membrană elastică destul de mare, de formă conică, confecționată din carton sau din material plastic, este fixată la capătul mai îngust o bobină mobilă străbătută de curentul de audiofrecvență. Această bobină de formă cilindrică este așezată în întrefierul inelar al unui puternic magnet permanent.



Difuzor electrodynamic

Deduci desigur că fenomenul care se va produce va fi inversul celui din microfonul dinamic: la fiecare alternanță a curentului, bobina mobilă va fi deplasată înainte și înapoi, datorită interacțiunii dintre cîmpul ei magnetic variabil și cel al magnetului permanent.

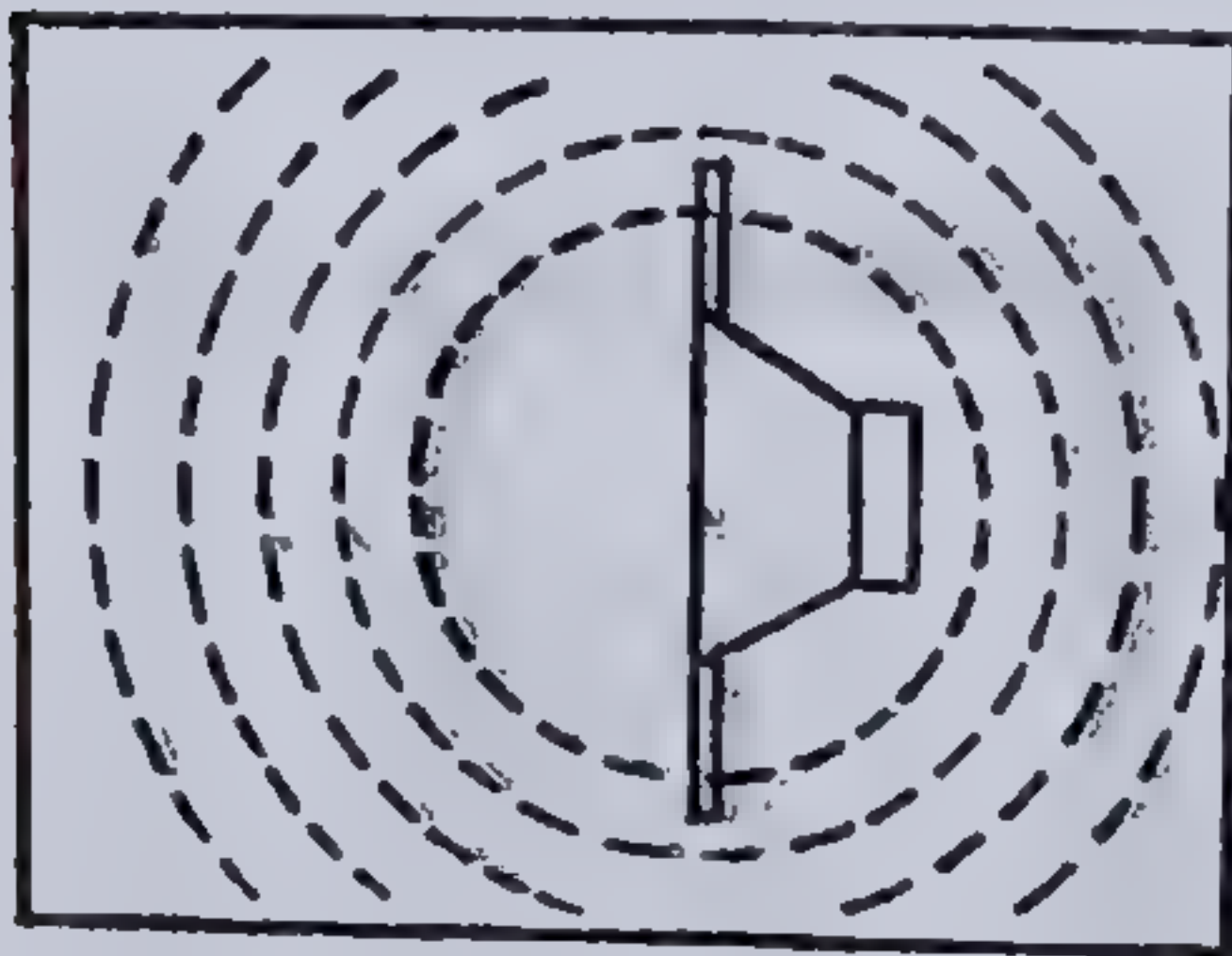
Fiind fixată de bobina mobilă, membrana vibrează și produce, datorită dimensiunilor sale mari, unde sonore puternice.

Totuși, faptul că membrana proiectează undele sonore atât înainte cât și înapoi are ca efect atenuarea sunetelor grave. Din cauza lungimii de undă mai mari, sunetele grave difuzate înapoi pot ajunge în fața membranei și, fiind în opoziție cu cele emise direct înainte, se atenuază reciproc cînd se întîlnesc.

Pentru a evita acest inconvenient, trebuie să se separe undele din față de cele din spate. În acest scop se folosește un ecran de lemn. Pentru a fi eficace, un astfel de ecran ar trebui să aibă cîțiva metri și ar ocupa prea mult loc.

O altă variantă ar fi să se perforeze într-un perete un cerc de dimensiunile membranei.

O rezolvare mai simplă și mai practică constă în utilizarea unei incinte de dimensiuni suficient de mari care să absoarbă undele proiectate de fața posterioară a membranei.



Undele emise de difuzor înainte și înapoi

Aceasta este soluția adoptată pentru majoritatea difuzoarelor. În receptoarele de radiodifuziune, însăși cutia receptorului servește drept incintă sonoră.

În aparatele portative, cutia este prea mică pentru a asigura o muzicalitate perfectă. Iată de ce, în receptoarele de înaltă fidelitate, adică în sistemele de redare de calitate superioară, se folosesc difuzoare montate în incinte de volum mare, separat de celelalte elemente.

Cred că ți-am oferit astăzi o idee generală despre structura emițătoarelor și receptoarelor de radiodifuziune. Nu ți-am explicat însă nici una din metodele de amplificare, de modulație

sau de detecție și nici modul în care sînt produse oscilațiile de înaltă frecvență.

Pentru ca să înțelegeți toate acestea, va trebui să înveți întîi funcționarea tuburilor electronice, a tranzistoarelor și a altor componente pe bază de semiconductoare.

Presupun că veți aborda aceste subiecte la întîlnirea voastră viitoare.

Convorbirea a 6-a

De la cadru la diodă

Antena clasică nu constituie singurul mijloc cu ajutorul căruia se pot capta undele radioelectrice. Curiosus îi explică lui Ignotus cum se poate folosi în acest scop antena cadru.

Curiōsus descrie în continuare structura și funcționarea tubului electronic numit diodă, examinează utilizările acestuia în redresare și detecție, și vorbește, în încheiere, despre vechile receptoare cu galenă.

CADRELE COLECTOARE DE UNDE

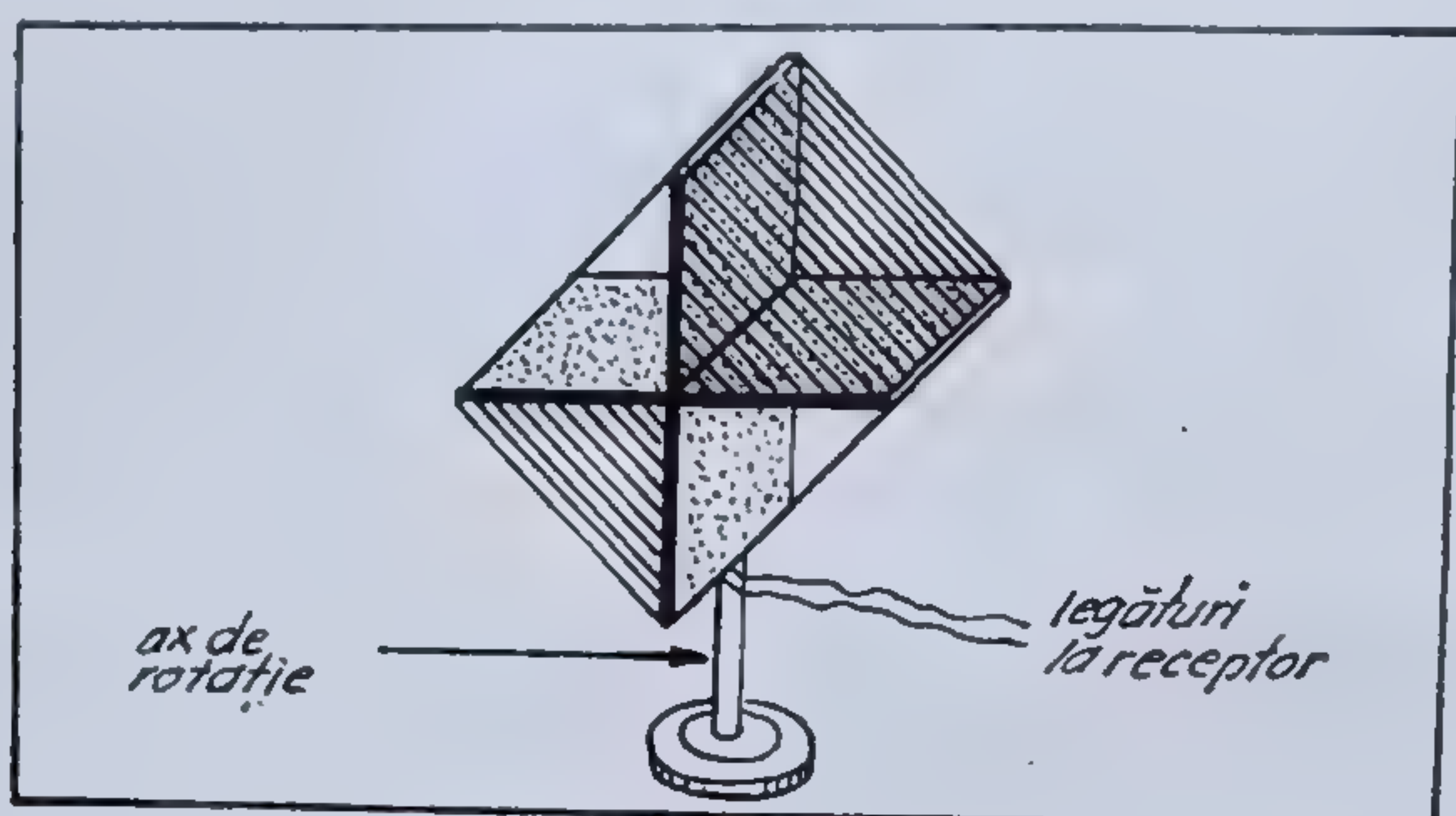
CURIOSUS : Acum, dragul meu Ignotus, ți-ai format, cu ajutorul explicațiilor pe care ți le-a dat unchiul meu, o imagine destul de clară despre modul în care se realizează legăturile radiofonice. Putem deci să trecem la studiul principalelor elemente utilizate în acest scop. Să începem cu tuburile electronice.

IGNOTUS : Există totuși ceva ce nu pricep. După spusele unchiului tău, undele induc în antena de recepție un curent foarte mic. Presupun că antena este formată dintr-un fir conductor de o anumită lungime. Dar receptorul meu portativ cu tranzistoare funcționează perfect fără nici un fel de antenă. Este suficient să-l orientez într-o direcție, care depinde de emițătorul pe care vreau să-l recepționez, pentru ca să aud foarte bine programul. Cum este posibil acest lucru, fără antenă ?

CURIOSUS : Greșești afirmând că aparatul nu are antenă. Receptorul tău are un colector excelent de unde, care nu este o antenă obișnuită, ci un cadru.



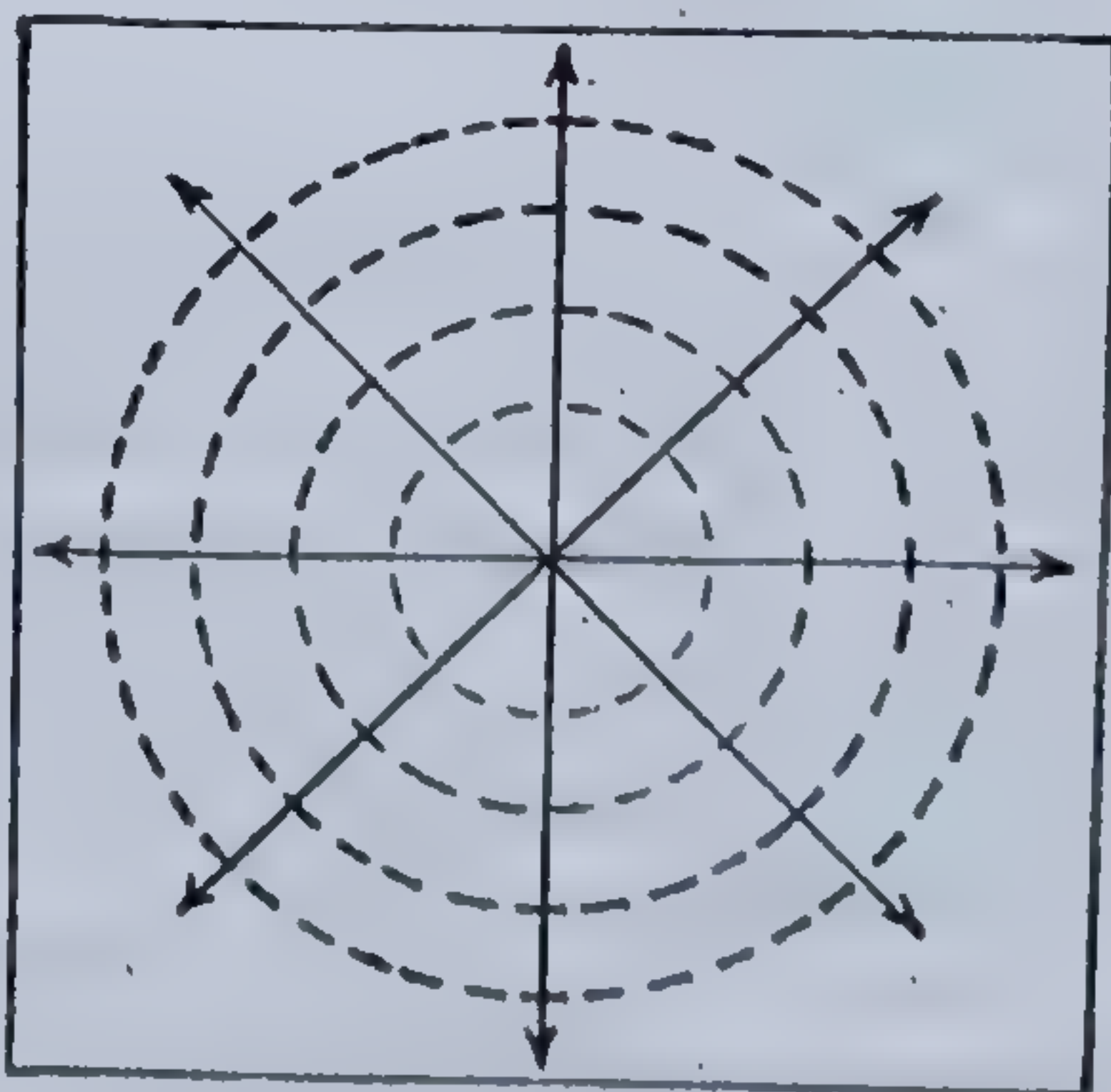
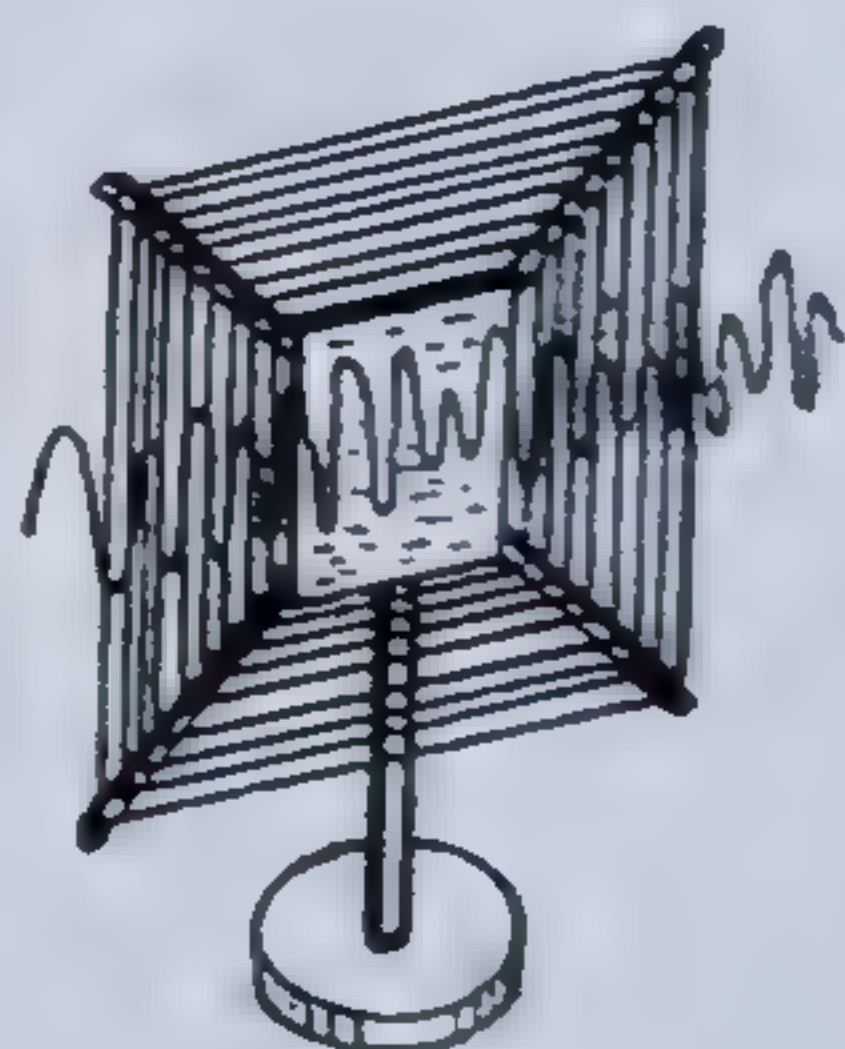
Până acum știam că doar bicicleta are cadru... Ce-o mai fi și cadrul ăsta care recepționează undele?



Antenă cadru pentru captarea undelor electromagnetice.

Mai demult, se foloseau antene cadru dispuse în afara cutiei radioreceptoarelor. Un cadru se realizează prin bobinarea unui număr de spire în jurul o două tije de lemn, fixate în cruce. Se obține, prin urmare, o bobină de formă patrată. Una din cele două tije constituie suportul și, fiind dispusă vertical, servește drept ax de rotație. Învîrtindu-se în jurul acestui ax, bobina poate fi orientată în toate direcțiile.

Undele electromagnetice dau naștere, așa cum arată și numele lor, atât unor linii de forță electrice cît și unor linii de forță magnetice...



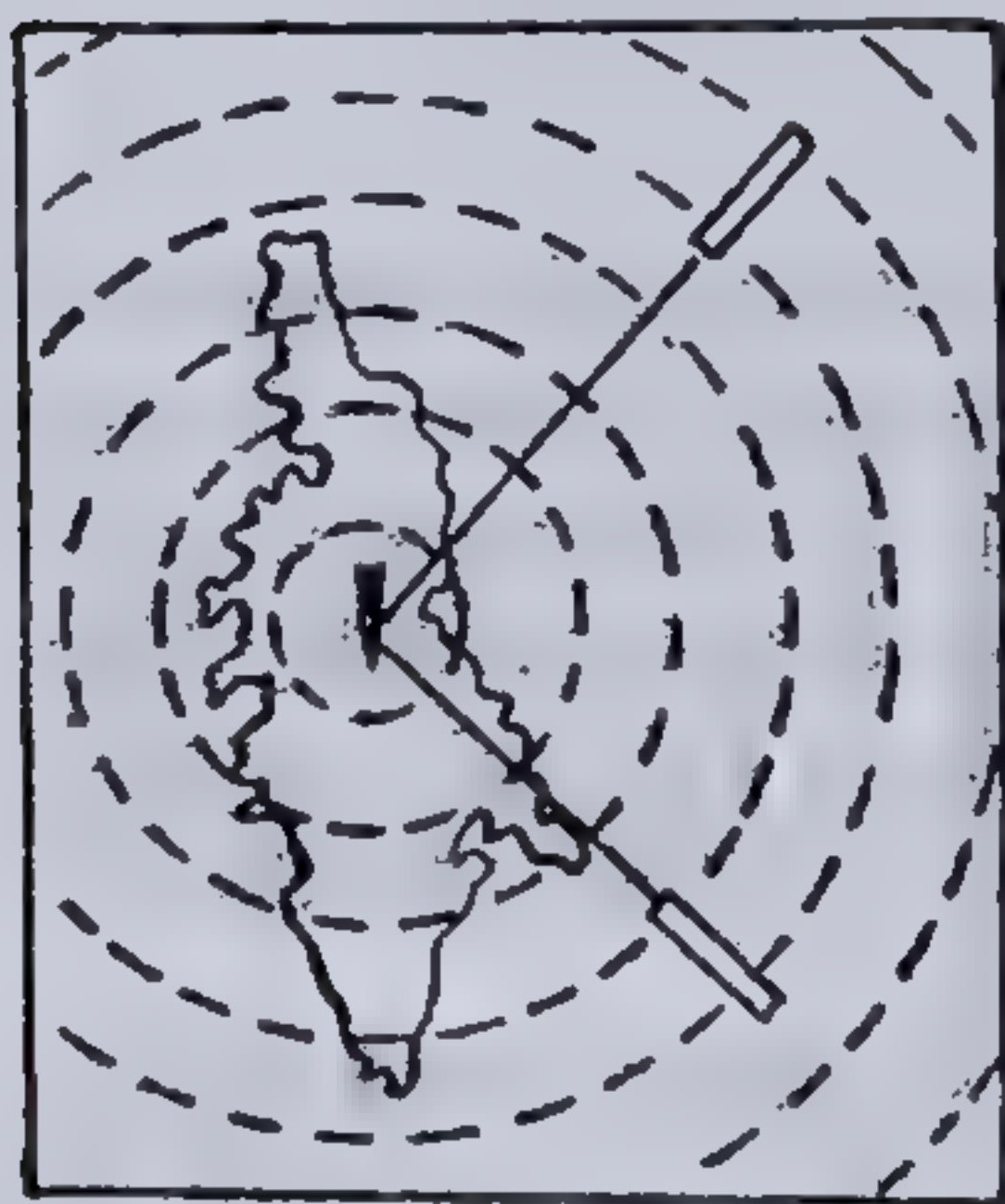
Antena de emisie, reprezentată prin punctul central, creează linii de forță electrice, figurate sub formă de săgeți, și linii de forță magnetice (cerculile punctate).



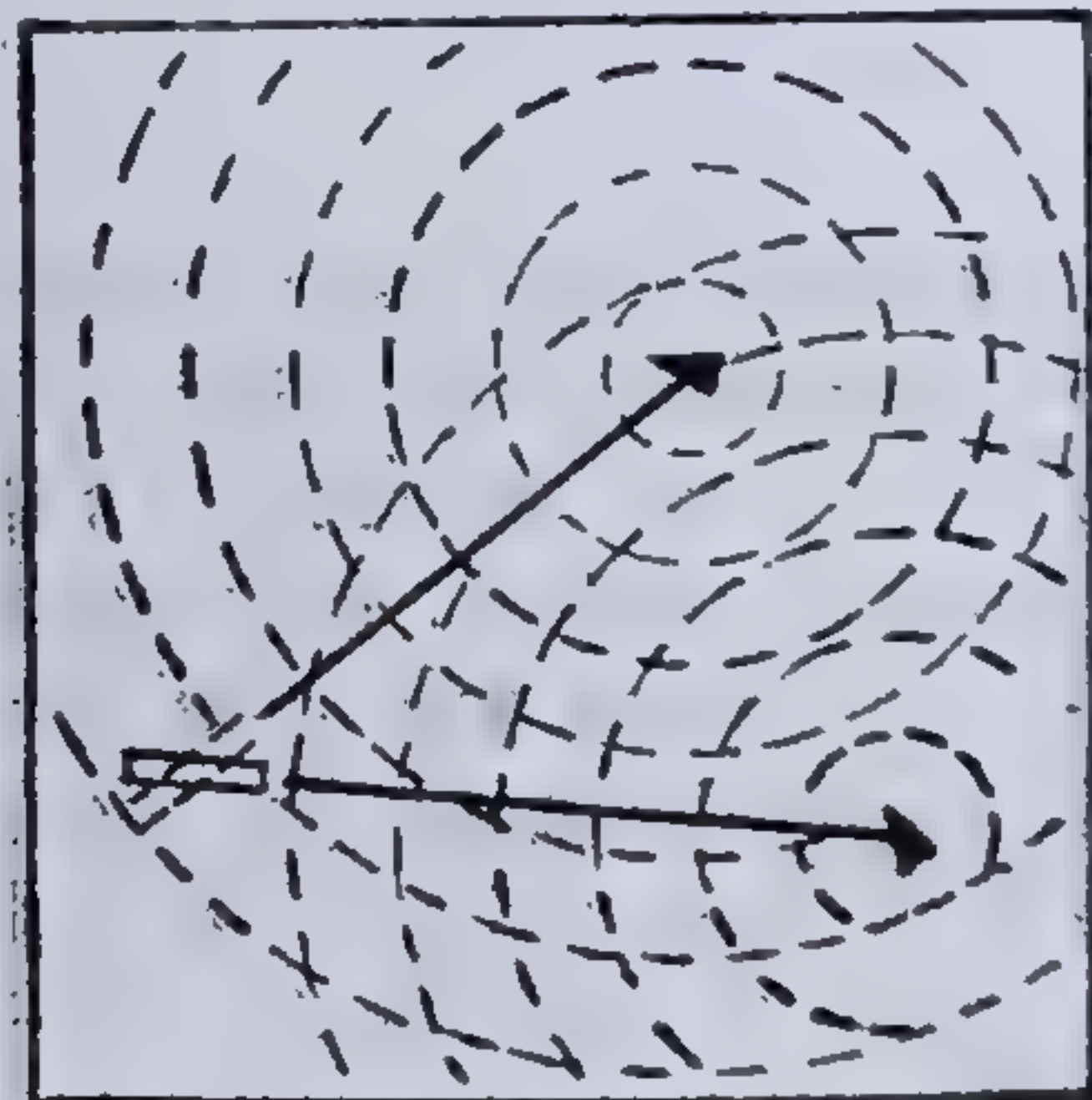
IGNOTUS : ...Perpendiculare unele pe altele. Liniile de forță electrice sînt orientate paralel cu direcția de propagare, deoarece ele trebuie să fie perpendiculare pe antena de emisie prin care circulă curentul electric. Aceste linii constituie un fel de raze în cercurile formate de liniile de forță magnetice. Și, după cum știm cu toții, raza unui cerc este perpendiculară pe porțiunea de circumferință pe care o intersectează.

RADIOGONIOMETRIE

CURIOSUS : Un specialist în geometrie te-ar corecta, spunînd că raza este perpendiculară pe tangenta la cerc în punctul respectiv. În rest, afirmațiile tale sînt corecte.



Dirijînd două antene cadru către un emițător, putem determina poziția acestuia.



Dirijînd cadrul spre două emițătoare, putem stabili poziția receptorului.

Îți dai desigur seama că, pentru ca liniile de forță magnetice ale unei unde radioelectrice să inducă un curent în bobina pe care o constituie cadrul, este necesar ca axul său să coincidă cu direcția acestor linii de forță. Și cum ele sînt orientate perpendicular pe direcția emițătorului, planul spirelor din cadru trebuie să fie și el orientat în aceeași direcție.

Prin urmare, pentru a recepționa un anumit emițător, trebuie să orientăm planul cadrului, perpendicular pe direcția respectivă. Acest fenomen a dat naștere *radiogoniometriei*, tehnica prin intermediul căreia se măsoară cu precizie direcția din care se emit undele.

Cred că înțelegi utilitatea acestei metode în navigația maritimă sau aeriană. Dacă două radiogoniometre, aflate la dis-

tanță destul de mare unul de altul, stabilesc fiecare, direcția din care sosesc undele emise de o navă sau de un avion, poziția acestuia se stabilește cu ușurință intersectând pe o hartă dreptele respective.

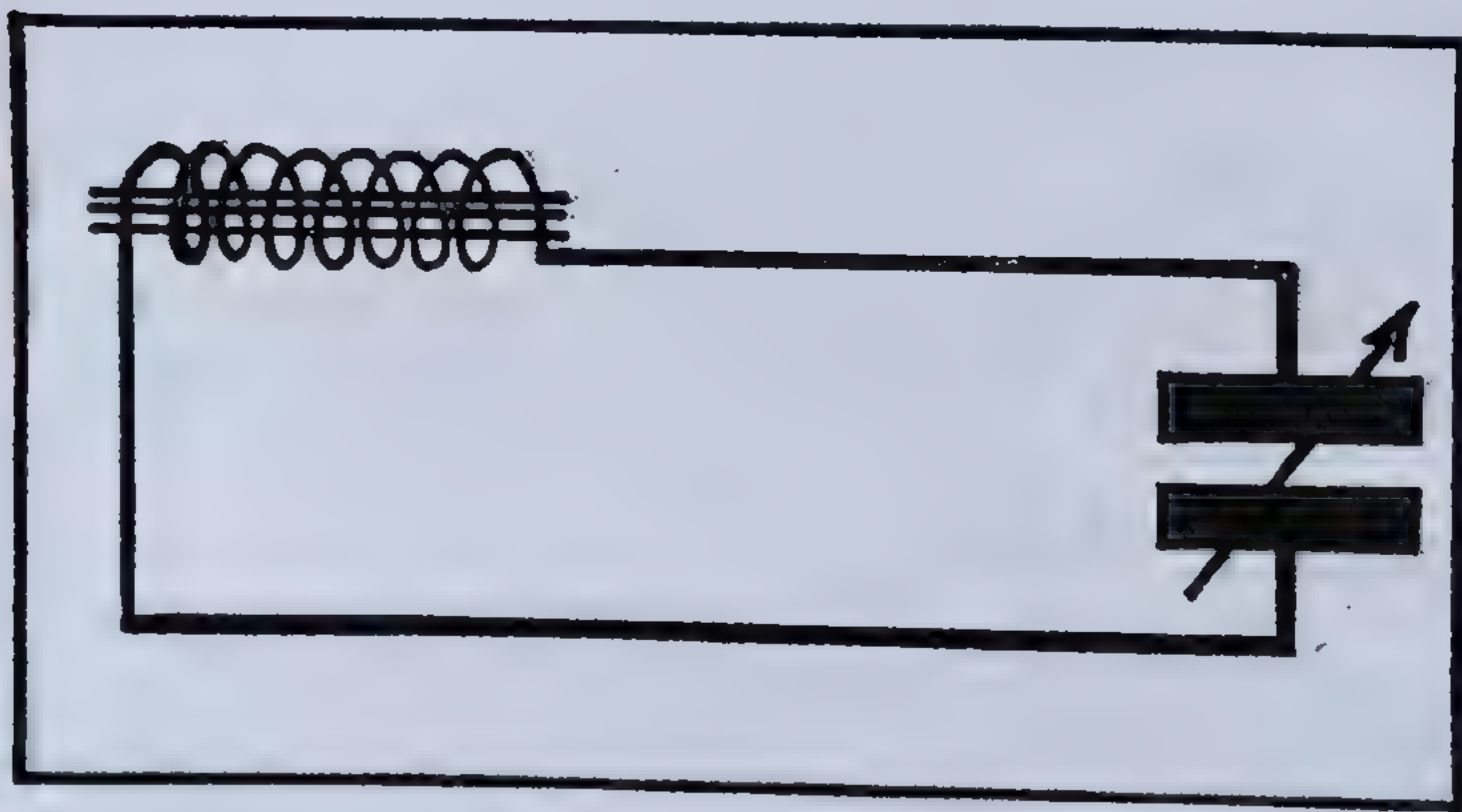
IGNOTUS : Mă întreb dacă nu este posibil să se procedeze și invers, adică să se determine poziția unei nave sau a unui avion, stabilind direcțiile față de două emițătoare fixe a căror poziție este cunoscută.

CURIOSUS : Această metodă are o largă răspîndire în navigație și în aeronautică.

ANTENE CU MIEZ FEROMAGNETIC

IGNOTUS : Să revenim la întrebarea pe care ți-am pus-o la începutul convorbirii noastre. Există deci, în receptorul meu portativ, un cadru care colectează undele ?

CURIOSUS : Da un fel de cadru, alcătuit dintr-o bobină cu miez de ferită.

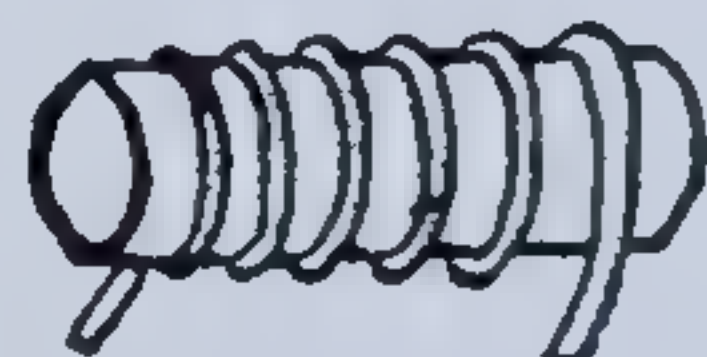


Circuit oscilant cu antenă pe miez de ferită.

IGNOTUS : Adică ?

CURIOSUS : Este vorba de un miez cu permeabilitate foarte mare, realizat sub forma unui baston și constituit din granule de oxizi de fier, izolate unele de altele.

IGNOTUS : De ce ?



CURIOSUS : Pentru a reduce pe cât este posibil curenții Foucault, adică acei curenți pe care îi induce cîmpul magnetic variabil al unei bobine în orice conductor aflat în acel cîmp. Datorită izolării granulelor magnetice, miezul se comportă ca un izolator, curenții Foucault sînt nuli și se evită pierderile inutile de energie în bobină.

IGNOTUS : Ce rol are miezul magnetic ?

CURIOSUS : Deoarece dimensiunile antenei din interiorul aparatului sînt foarte mici, se folosește o bobină cu miez pentru a mări coeficientul de autoinducție și, mai ales, pentru ca undele radioelectrice să dea naștere unui curent destul de mare. Datorită înaltei lor permeabilități magnetice, miezurile determină concentrarea undelor în antenă, ușurînd trecerea liniilor de forță magnetică.

IGNOTUS : Cum se face legătura acestei antene cu circuitul de intrare al receptorului ?

CURIOSUS : În general, cadrul este folosit drept bobină pentru circuitul oscilant de intrare. Cele două capete ale bobinei cu miez de ferită vor fi, prin urmare, conectate la cele două armături ale condensatorului variabil de acord.

IGNOTUS : Am înțeles. O ultimă întrebare despre acest tip de antene. Un receptor portativ de dimensiuni mici nu e prea greu de orientat. Dar cu un aparat greu și voluminos nu cred că se poate proceda la fel.

Ce se face în acest caz ?

CURIOSUS : În receptoarele mari, antena cu ferită se poate roti în interiorul aparatului, prin manevrarea unui buton de pe panou.

IGNOTUS : Îți mulțumesc pentru tot ce mi-ai explicat despre aceste antene originale.

EMISIA ELECTRONICĂ

CURIOSUS : Am vorbit pînă acum de elementele pasive, care oferă curentului cale de trecere prin conductoare sau prin rezistențe. A sosit momentul să abordăm în mod activ componentele active.

IGNOTUS : Prin ce trece curentul în acest caz ?

CURIOSUS : Prin vid sau prin semiconductoare.

IGNOTUS : Îți bați joc de mine, Curiosus ? Cum poate trece curentul prin vid, cînd acesta constituie, într-o măsură și mai mare decît aerul uscat, un izolant ideal ?

CURIOSUS : Și totuși electronii trec cu ușurință prin vid, cu condiția să fie azvîrliți. Pentru a-i proiecta în vid, este ne-

cesar să încălzim un conductor la o temperatură ridicată. Știi ce se întâmplă în interiorul unui corp încălzit?

IGNOTUS: Știu. Moleculele sînt antrenate într-o mișcare oscilatorie dezordonată, cu atît mai rapidă, cu cît temperatura este mai ridicată.

CURIOSUS: Exact. Și, la un moment dat, moleculele se zgîlție atît de tare, încît electronii de pe orbitele exterioare ale atomilor, fiind atrași cu o forță mai mică de nucleu, se desprind și sînt proiectați în afara corpului respectiv.

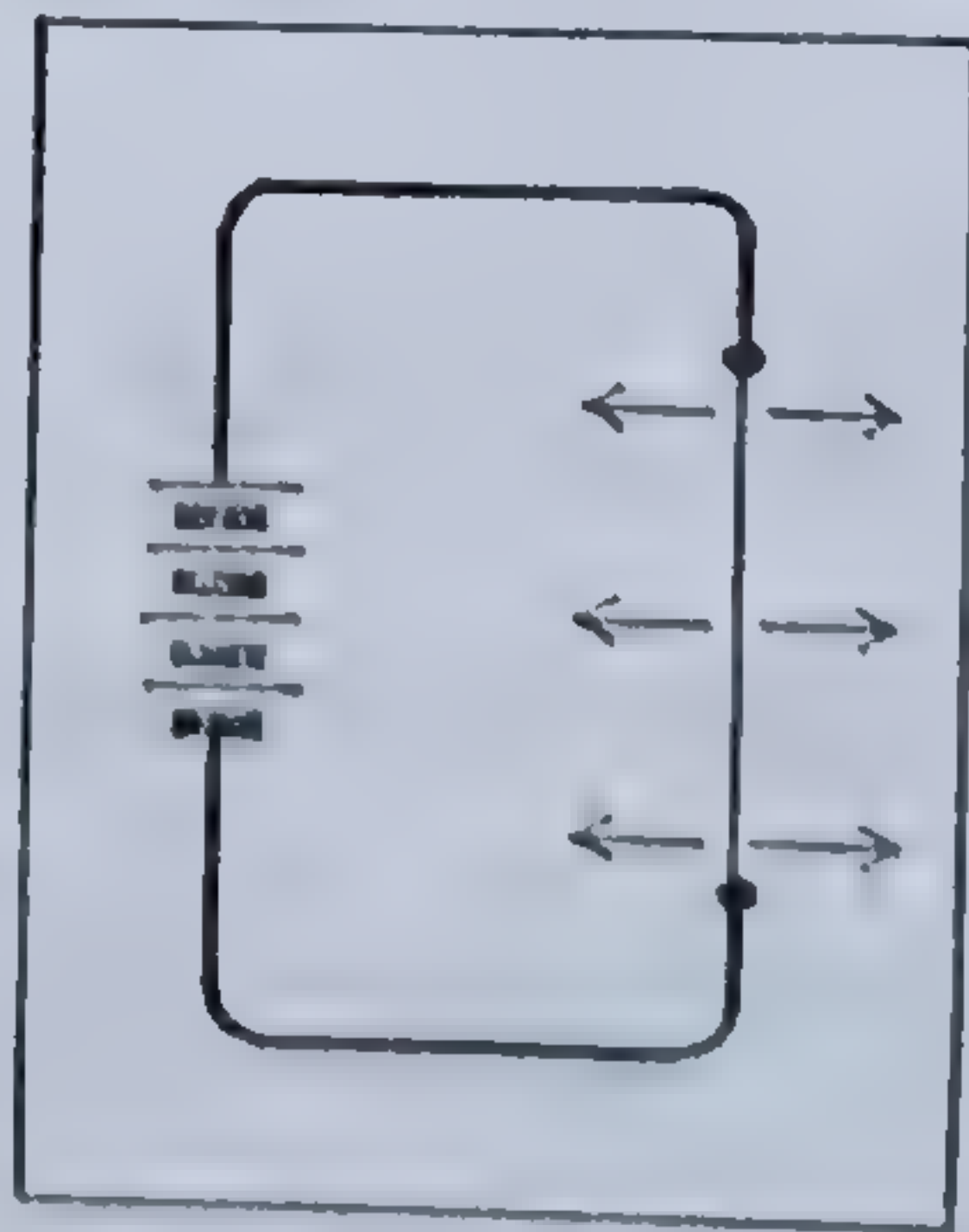
IGNOTUS: Un fenomen asemănător s-ar produce dacă am scutura o tavă de fructe. Fructele de pe margine ar cădea.

CURIOSUS: Analogia este întrucîtva corectă. Nu m-ai întrebat însă, cum se încălzește corpul, pentru a declanșa emisia de electroni. Evident că se poate recurge la o flacără obținută prin arderea cărbunelui, benzinei sau gazelor, dar în electronică se preferă utilizarea energiei electrice.

În practică, se folosește un filament adus la incandescență de curentul electric care trece prin el. Fenomenul este similar cu cel ce se petrece în becurile cu incandescență. Cînd curentul trece printr-o rezistență, energia electrică se transformă în căldură. Filamentul, fiind foarte subțire, are o rezistență mare și o masă foarte mică, astfel că, datorită căldurii care se degajează, temperatura lui crește foarte mult.

IGNOTUS: După cîte înțeleg, aceasta este modalitatea prin care se expulzează electronii din filament.

CURIOSUS: Da. Cel puțin, așa se petrec lucrurile în tuburile cu *încălzire directă*, în care filamentul, adus la incandescență, emite electroni. Astăzi se folosesc mai mult tuburi cu *încălzire indirectă*, în care filamentul este înconjurat de un strat izolant învelit într-un tub de nichel. La suprafața acestuia se află o peliculă emisivă compusă din diverși oxizi, cum

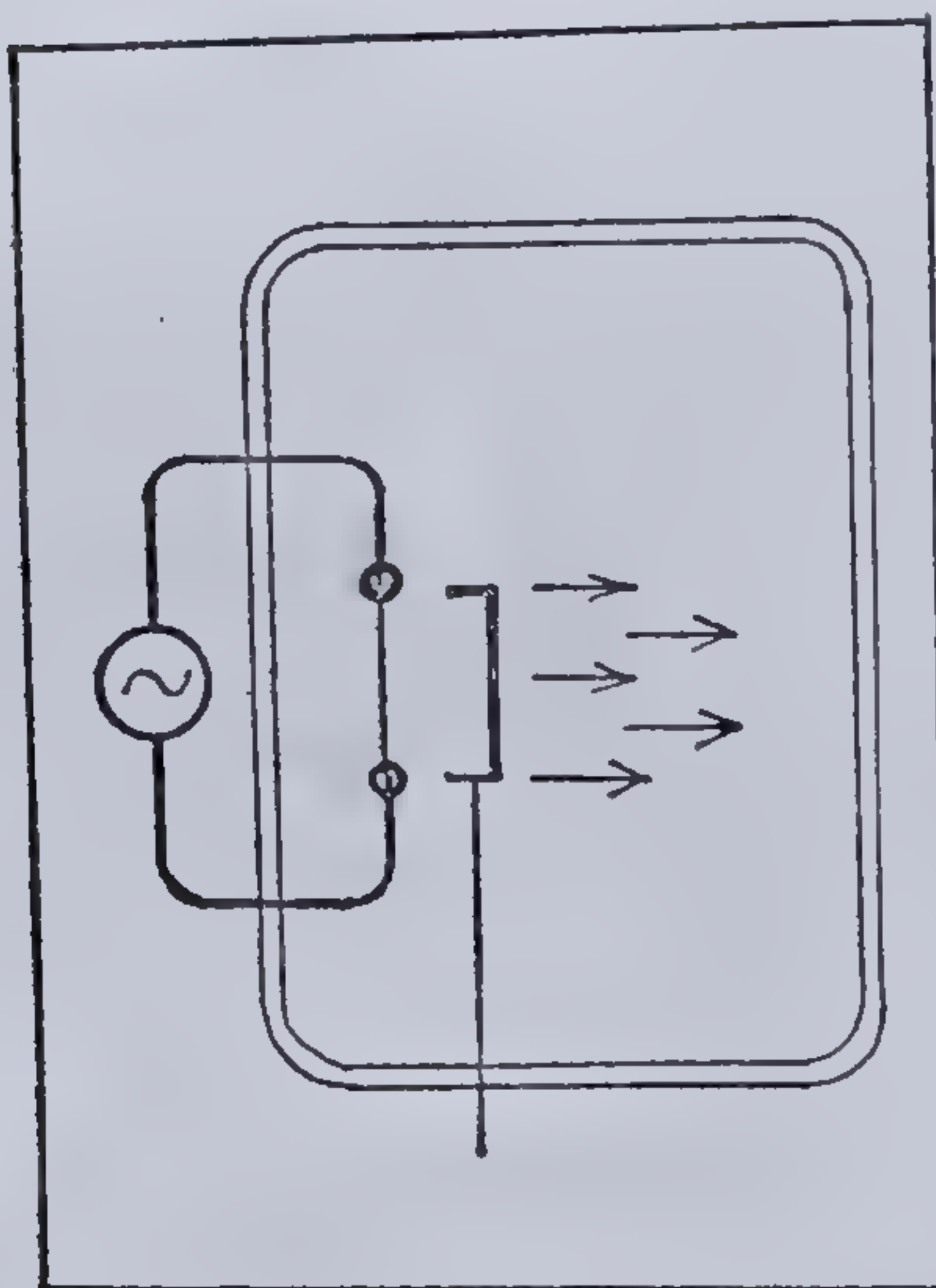


Emiterea electronilor de către un filament cu încălzire directă.

ar fi oxizii de bariu și de stronțiu, care emit electroni la temperaturi mai puțin ridicate.

IGNOTUS: Ce rost are să complicăm în felul ăsta dispozitivul de emis electroni?

CURIOSUS: Datorită încălzirii indirecte, filamentul este izolat din punct de vedere electric de stratul care emite electroni și poate fi încălzit, atât cu curent continuu, cât și cu curent alternativ. *Curentul de filament* are un rol auxiliar.



Electroni emiși de un catod cu încălzire indirectă.



Tuburile cu încălzire indirectă au fost create în jurul anului 1930. Datorită lor, s-au putut construi receptoarele alimentate din rețeaua de curent alternativ. Până atunci, filamentele erau încălzite cu ajutorul unor baterii de 4 volți, pentru a se obține o emisie constantă de electroni.

Astăzi, tuburile cu încălzire indirectă folosesc, pentru alimentarea filamentului, o tensiune alternativă de 6,3 V, obținută din tensiunea rețelei, cu ajutorul unui transformator coborîtor.

REDRESAREA ȘI DETECȚIA CURENTULUI

IGNOTUS: Am înțeles cum se produce emisia electronică, dar nu pricep la ce servesc electronii expulzați. Mă întreb ce se va întâmpla când electronii se vor lovi nas în nas cu moleculele de aer pe care le vor întâlni în drum.

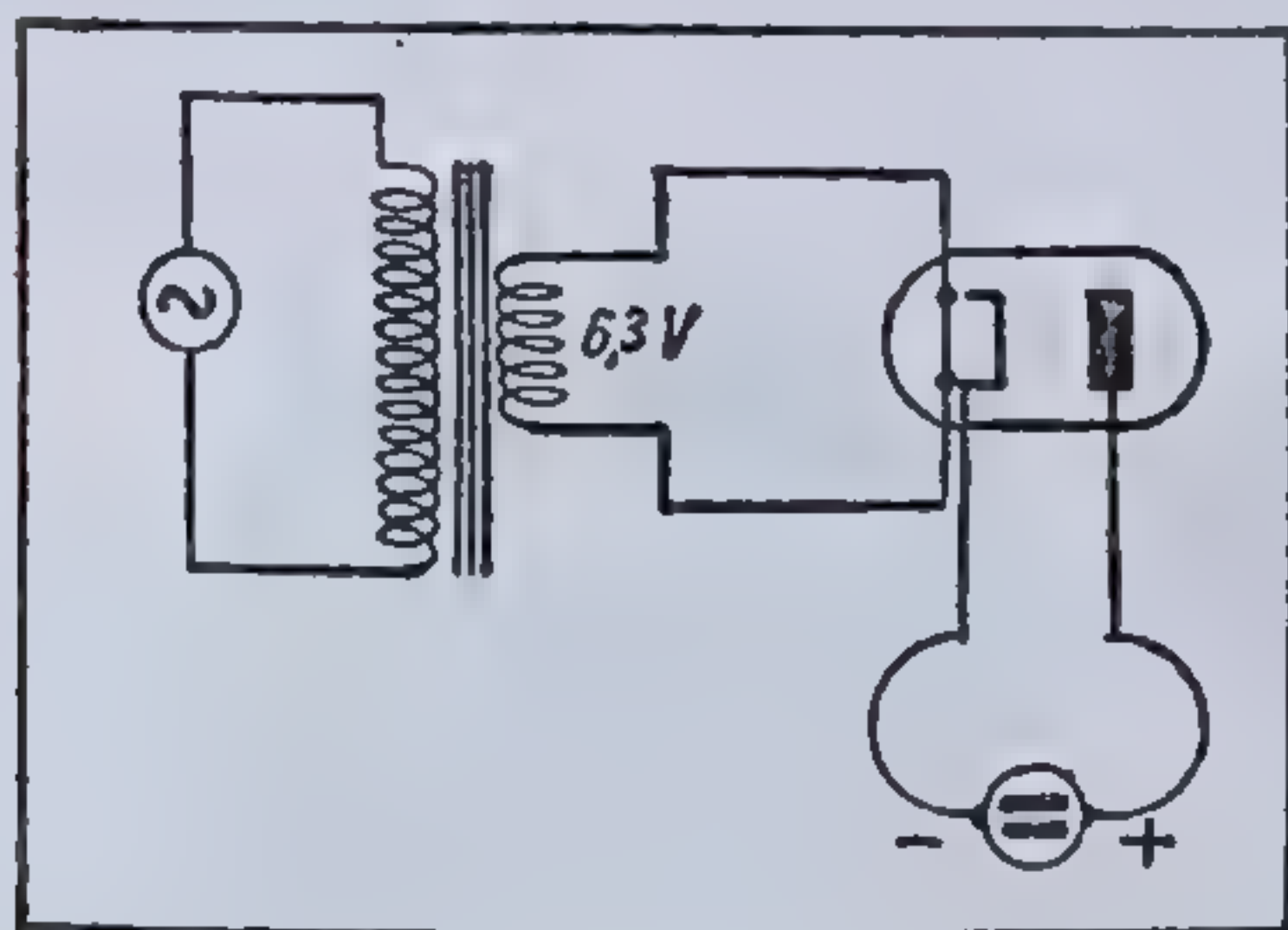
CURIOSUS : Acest pericol nu există, pentru că electrodul care emite electronii se află într-un tub cu vid, adică într-un balon de sticlă din care s-a extras aerul, obținându-se un vid aproape perfect.

Nu vom lăsa însă electronii să se odihnească în vid. În fața electrodului nostru emisiv, vom așeza o placă bună conducătoare de electricitate pusă la un potențial mai ridicat decât cel al electrodului emisiv.

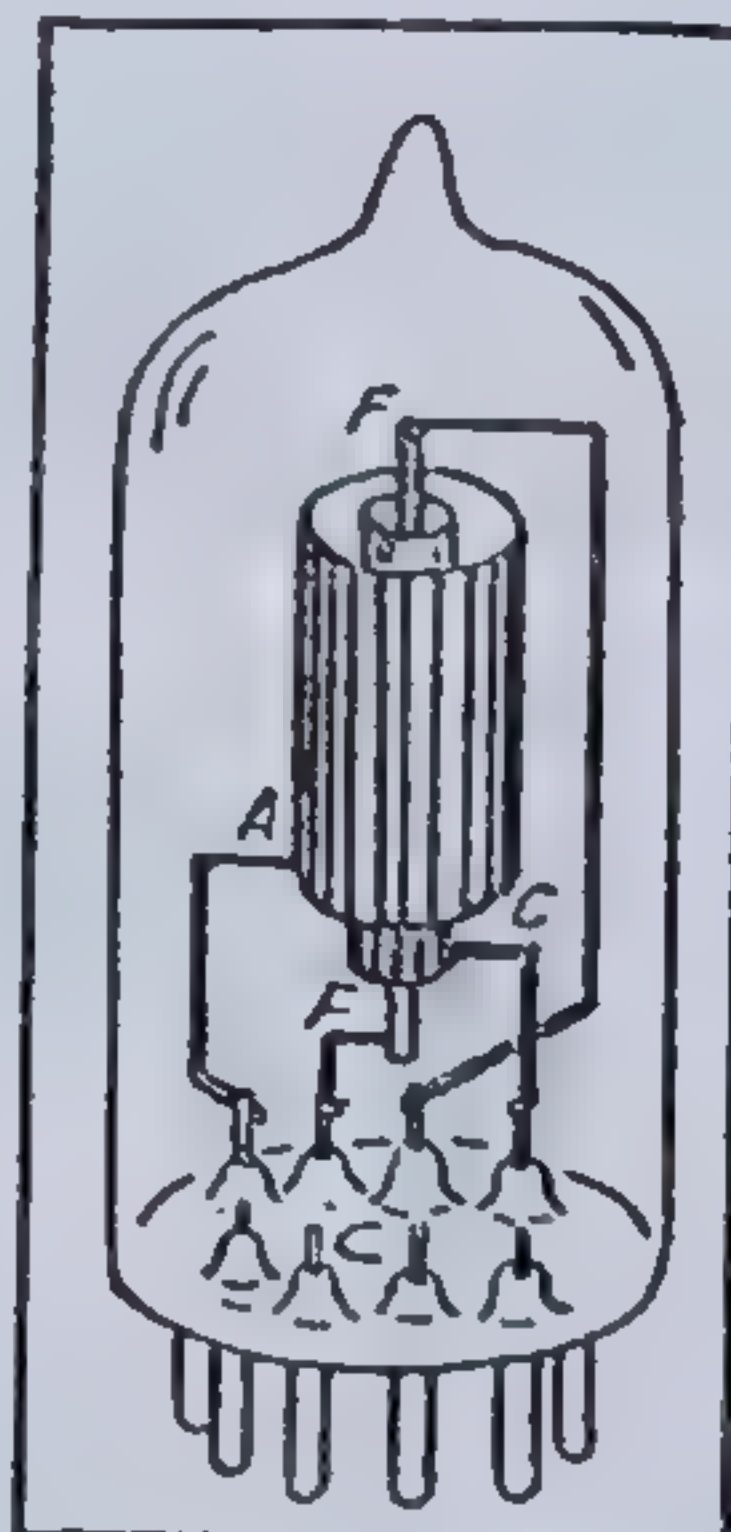
Ce se va întâmpla ?

IGNOTUS : Fiind pozitivă, placa va atrage electronii emiși. Și dacă între electrodul care emite electroni și placă vom conecta o sursă de tensiune continuă, prin acest circuit care conține și o porțiune de vid va circula un curent continuu.

De-a dreptul fenomenal !



În dioda cu încălzire indirectă, anodul, care se află la un potențial pozitiv față de catod, atrage electronii emiși de acesta din urmă.



Structura diodei :
F — filament ;
C — catod ; A — anod.

CURIOSUS : Acesta este principiul diodei. Ea este formată din doi electrozi : cel ce emite electronii este pus la un potențial negativ și se numește *catod* ; placa, al cărei potențial este pozitiv, poartă numele de *anod*.

În modelele care se fabrică în zilele noastre, catodul este, în general, așezat în axul vertical al balonului de sticlă, iar anodul care are o formă cilindrică, înconjoară catodul.

IGNOTUS : La ce servește dioda ?

CURIOSUS : Să presupunem că ai legat din greșeală bateria invers și că, prin urmare, anodul este mai negativ decât catodul. Ce se va întâmpla ?

IGNOTUS : Fiind negativ, anodul va respinge electronii emiși de catod, în loc să-i atragă. În consecință, prin diodă nu va circula nici un curent între cei doi electrozi.

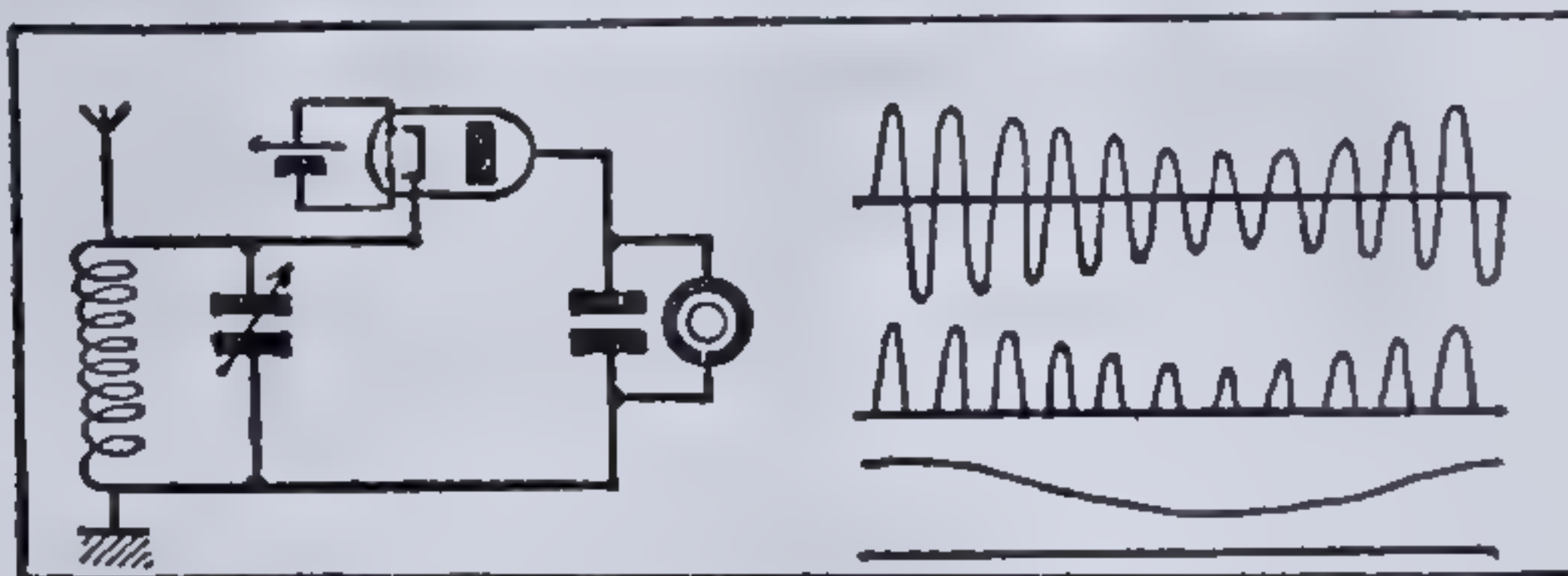
CURIOSUS : Exact. Să presupunem acum că, în locul bateriei, vom lega între cei doi electrozi o sursă de tensiune alternativă.

IGNOTUS : Văd unde vrei să ajungi. În timpul alternanțelor care fac ca anodul să fie pozitiv, va trece curent prin tub, iar în timpul alternanțelor pentru care anodul va fi negativ, nu va trece nici un curent.

CURIOSUS : Iată deci că dioda noastră nu conduce decât într-un singur sens, asigurând *redresarea* curentului alternativ.

Această proprietate este foarte importantă în radiofonie. Îți amintești forma curentului de înaltă frecvență, modulat în amplitudine de curentul de audiofrecvență care se obține prin transformarea sunetelor în semnale electrice ?

Un astfel de curent modulat va determina apariția unei tensiuni de aceeași formă la intrarea în receptor. Să aplicăm această tensiune între anodul și catodul unei diode. Ea va fi redresată și vor trece numai alternanțele care pozitivează anodul.



Circuit cu diodă pentru detecția curentului de înaltă frecvență.

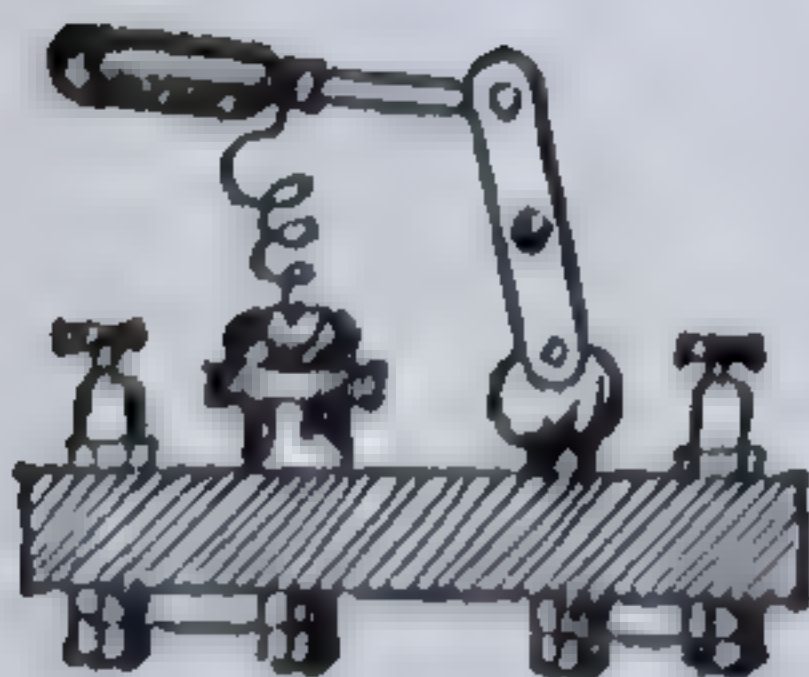
În cască ajunge curentul de audiofrecvență.

Curentul de înaltă frecvență este redresat de diodă și cu ajutorul condensatorului este reconstituit curentul de audiofrecvență.

Să trimitem curentul rezultat, într-o cască legată în paralel pe un condensator. Capacitatea acestuia se va încărca la nivelul alternanțelor de înaltă frecvență și va reconstitui astfel curentul de audiofrecvență care reprezintă sunetele transmise ; iar tu vei auzi aceste sunete în cască. Descriind acest proces spunem că dioda *detectează* curentul de înaltă frecvență. Prin detecție se extrage curentul modulator de joasă frecvență.

IGNOTUS : Deci, dacă am înțeles bine, dioda are în primul rând calitatea de a redresa curentul și, datorită acestui fapt, poate detecta curentul indus de undele radioelectrice.

CURIOSUS : Într-adevăr, așa este. Trebuie să știi că, detecția se poate realiza și cu alte dispozitive capabile să redreseze



curentul. La începuturile radiodifuziunii se utiliza adesea, în acest scop, detectorul cu galenă. Un vîrf de metal așezat la capătul unui resort se sprijinea pe un cristal de galenă (sulfură de plumb). În punctul de contact, curentul nu trecea decît într-un singur sens. Acest detector era mult mai sensibil decît tubul diodă. Din această cauză aparatele cu galenă erau foarte răspîndite prin anii 20.

Într-o formulă mult mai generală, orice contact între doi conductori caracterizați prin forme, structuri sau chiar temperaturi diferite determină o asimetrie care dă naștere fenomenului de redresare.

În zilele noastre se folosesc în special redresoare solide alcătuite din semiconductoare. Despre funcționarea lor îți voi vorbi în curînd.

Pînă atunci, observ că ești obosit și că ții capul aplecat ca și cînd ai fi pe cale să adormi. Pentru ca să-l poți redresa, te las să te odihnești.



Profesorul Radiol trece :

De la Diodă la Triodă

În primul rînd el va completa expunerea făcută de nepotul său cu privire la diodă, făcînd unele completări în ceea ce privește funcționarea acesteia. După aceea va descrie trioda: funcționarea, parametrii fundamentali, curbele sale caracteristice și principalele montaje de amplificare de înaltă frecvență.

Dragă Ignotus, constat cu plăcere, că ai înțeles foarte bine principiile de funcționare și caracteristicile acestei supape electronice denumită diodă.

La expunerea pe care ți-a făcut-o nepotul meu, voi mai adăuga unele precizări. Și, mai înainte de toate, cîteva valori.

TEMPERATURA ȘI VIDUL

În primul rînd, vă voi spune care sînt temperaturile la care trebuie încălziți catodii. În cazul unui tub cu încălzire directă, filamentul este în general produs dintr-un aliaj de tungsten care, pentru emisie, trebuie încălzit la 2.000°C . În cazul încălzirii indirecte, oxizii emit foarte bine electronii la temperaturi mai joase, cuprinse, de obicei, între 800 și 900°C .

Curiosus ți-a spus că în tubul de sticlă se realizează vid. De fapt se reduce cantitatea de aer conținută de acesta cam de 10 miliarde de ori. Cu toate acestea, chiar la o presiune atît de slabă, un tub electronic mai conține încă cîteva zeci de bilioane (milioane de milioane) de molecule de aer. În fiecare milimetru cub există cam 80 000.

Stai nu te speria, în aceste condiții densitatea moleculelor este infimă. Dimensiunile moleculelor sînt atît de mici încît, în cazul nostru, distanța medie între două molecule vecine este de 20.000 ori mai mare decît diametrele lor. Toate acestea le-am spus pentru ca voi să înțelegeți bine că electronii pot traversa foarte ușor distanța dintre anod și catod fără prea multe pericole de ciocniri cu moleculele existente.

Chiar mai mult. În cazul în care un electron intră în una din aceste molecule, aceasta devine negativă, prin sarcina obținută în plus. În acest caz se spune că molecula este ionizată negativ. Ionul astfel creat este atras de anod, acesta fiind pozitiv. Situația nu este tocmai de dorit deoarece nu este necesar ca anodul (denumit deseori și placă) să fie acoperit cu un strat de molecule de aer.

VITEZA, INTENSITATEA ȘI SATURAȚIA CURENTULUI

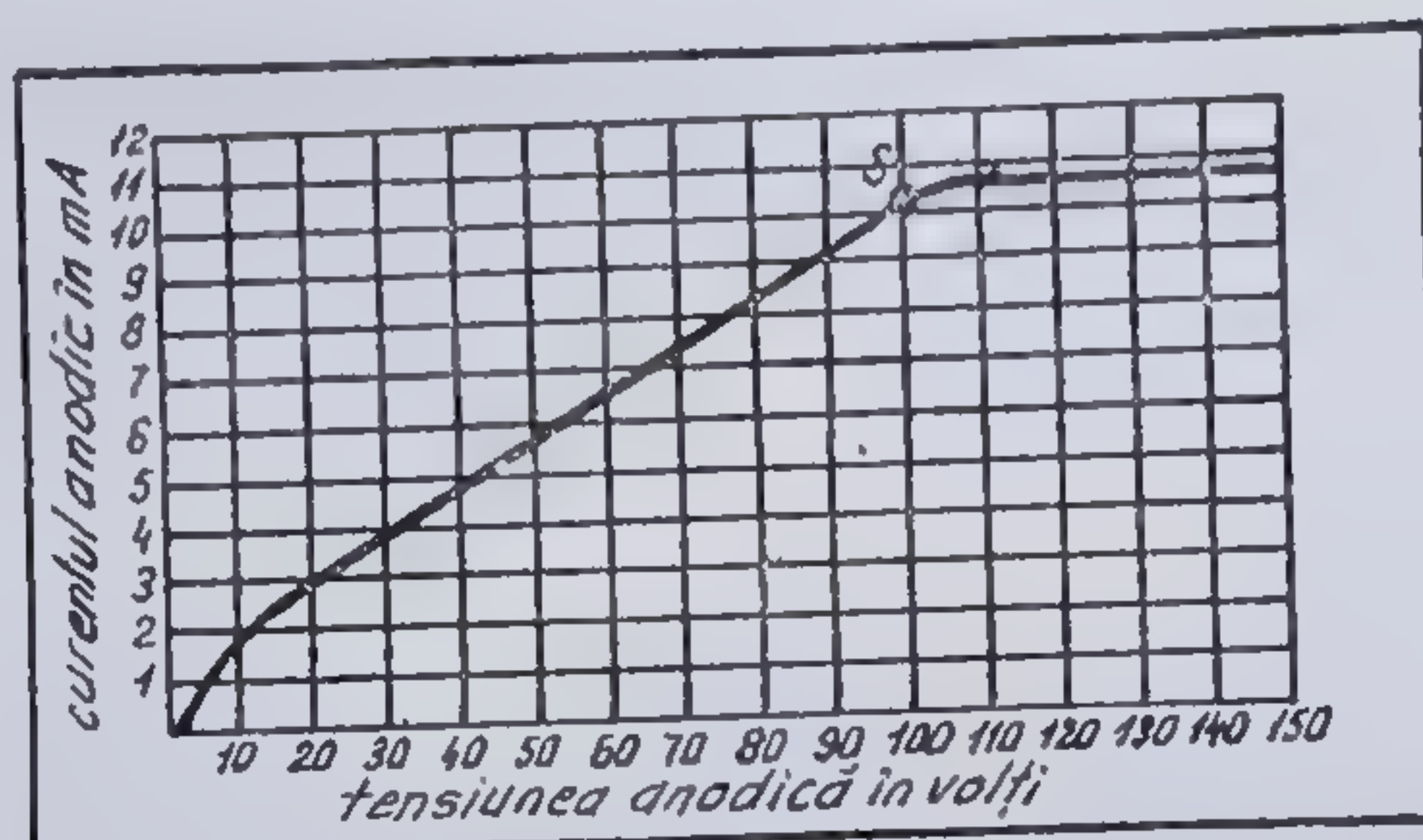
Vă veți întreba, și pe bună dreptate, care este viteza electronilor care traversează vidul dintre anod și catod?

Datorită faptului că în drumul lor nu întîlnesc nici un obstacol, ei parcurg această distanță cu o viteză apreciabilă. În cazul în care pe anod se aplică o tensiune $V_a = 200$ V, catodul fiind la masă, viteza electronilor este de circa 9.000 kilometri pe secundă.

Vă mai amintiți, cred, că în cazul conductoarelor viteza individuală a electronilor (a nu se confunda cu viteza ansamblului de electroni ce formează curentul) este destul de mică.

În ceea ce privește intensitatea curentului anodic al diodei, aceasta depinde, bineînțeles, de tensiunea U_a , aplicată între anod și catod. Cu cît anodul este mai pozitiv, cu atît el va atrage mai puternic electronii emiși de catod și în consecință, cu atît valoarea curentului va fi mai mare. Și în cazul de față ne aflăm, odată în plus în prezența unui circuit care respectă legea lui Ohm.

Cu toate acestea legea respectivă nu mai este valabilă în cazul depășirii unei anumite valori a tensiunii aplicate între anod și catod. Pentru această valoare a tensiunii, U_a , curentul anodic, I_a , atinge *saturația*: toți electronii emiși de catod ajung la anod. Oricît s-ar crește de acum înainte valoarea tensiunii anodice curentul rămîne la valoarea atinsă la saturație, deci constant.

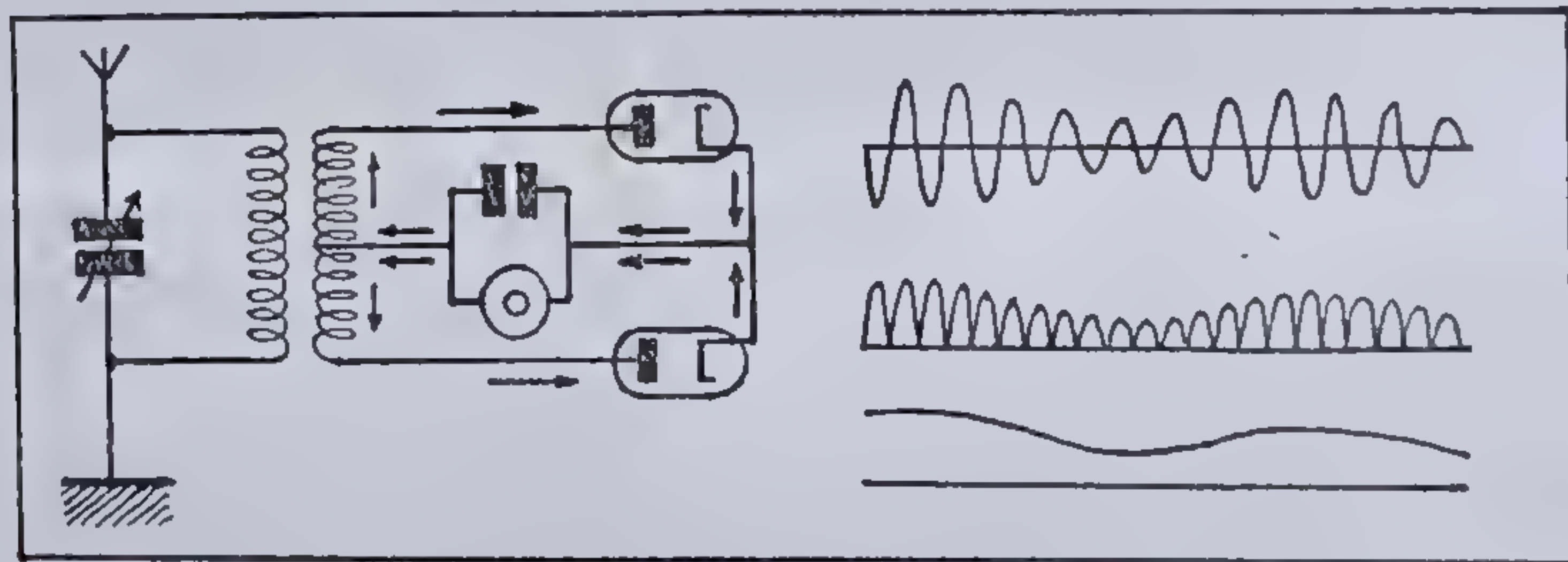


Variația curentului anodic funcție de tensiunea aplicată între anod și catod. Depășirea punctului *S* oprește creșterea curentului deoarece aci el atinge saturația.

DETECȚIA DUBLĂ

Curiosus ți-a explicat în convorbirea anterioară, proprietățile de redresare pe care le posedă dioda și ca rezultat al acesteia proprietatea de detecție. În plus ți-a arătat modul în care dioda acționează asupra tensiunii modulate de înaltă frecvență, eliminând înalta frecvență și reținând numai curentul de joasă frecvență, acțiune ce caracterizează detecția.

Realizarea detecției poate fi mai eficace prin utilizarea a două diode conectate conform schemei pe care o prezint mai jos.



a — Schema montajului pentru redresarea ambelor alternanțe de înaltă frecvență. Curenții redresați parcurg sarcina în același sens.

În acest montaj, fiecare diodă redresează una din cele două alternanțe. Și iată cum : pentru alternanța pozitivă anodul diodei superioare devine mai pozitiv față de catodul ei și aceasta conduce. Invers, cealaltă alternanță pozitivă anodul diodei inferioare (diodele sînt legate la capetele înfășurării secundare a transformatorului, secundar prevăzut cu priză mediană) fapt ce determină simultan polaritatea plus la o extremitate și minus la cealaltă, pentru o alternanță, situația inversîndu-se în cazul celeilalte alternanțe.

În consecință difuzorul va fi parcurs de curenții redresați ai ambelor alternanțe, care însă circulă în același sens (pe schemă de la dreapta la stnga). Condensatorul conectat în paralel va juca rolul de scurt circuit pentru armonicele de înaltă frecvență rezultate din detecție.

ACȚIUNEA GRILEI

Să trecem acum de la diodă la *triodă*. Pentru aceasta între catodul și anodul diodei se intercalează un al treilea electrod: *grila*. Aceasta se compune dintr-o spirală cilindrică care înconjoară catodul sau dintr-un grilaj cu ochiuri foarte mici.

Dacă acum vom varia potențialul aplicat grilei, menținând potențialul catodului constant, grila va avea o influență foarte mare asupra curentului anodic. Cu cât grila este mai negativă în raport cu catodul, cu atât mai mare este forța de respingere pe care o exercită asupra electronilor ce formează curentul anodic și deci prin această acțiune îi împiedică să ajungă la anod.

Pe de altă parte, cu cât grila este mai pozitivă în raport cu potențialul catodului, cu atât ea va atrage mai tare electronii emiși de acesta, îi va accelera și în consecință cu atât mai mult crește intensitatea curentului anodic.

Totuși, în momentul în care grila este mai pozitivă decât anodul, cu toate că într-un fel ea ajută curentul anodic, pe de altă parte însă, ea îl concurează deoarece îi sustrage un anumit număr de electroni. Ori, curentul de grilă care se formează astfel, nu servește la nimic și în plus nici nu-i dorit. Astfel pentru a-l evita, grila este de obicei *polarizată* negativ față de catod. În jurul acestei valori de polarizare se variază în plus și în minus potențialul grilei, fără însă ca prin aceasta ea să devină pozitivă.

FACTORUL DE AMPLIFICARE ȘI PANTA

Variațiile potențialului grilei au asupra curentului anodic o influență foarte mare, mult mai mare decât cea exercitată de tensiunea anodică. Grila este plasată foarte aproape de catod și prin aceasta ea comandă sau controlează cantitatea de electroni care o traversează și se îndreaptă spre anod.

Acest control exercitat de grilă, determină *puterea de amplificare* a triodel. Amplificarea se măsoară prin valoarea raportului dintre variațiile potențialului anodic dV_a și cele ale

potențialului grilei dV_g . Variațiile potențialului grilei determină variațiile curentului anodic dI_a , care la rîndul său determină variațiile potențialului anodic dV_a . Raportul menționat mai sus (dV_a/dV_g) se numește *factor de amplificare*, avînd ca simbol litera μ . Astfel :

$$\mu = \frac{dV_a}{dV_g}$$

Să presupunem că, pentru a mări curentul anodic cu 1 mA, este necesară o pozitivare a tensiunii grilei de 2 V. Să presupunem în continuare că acestei modificări a curentului anodic îi va corespunde o variație a tensiunii anodice de 40 V. În acest caz, factorul de amplificare este $\mu = 40 : 2 = 20$.

Acest coeficient de amplificare depinde esențial de distanța ce desparte grila de catod. Cu cît aceasta este mai mică, cu atît acest factor are o valoare mai mare, fiind invers proporțional cu patratul distanței dintre electrozii respectivi.

Astfel, pentru realizarea unor tuburi cu amplificare mare, grila este așezată pe aproximativ o fracțiune de milimetru de catod. Există tuburi în care această distanță nu depășește 1/8 dintr-un milimetru, distanță comparabilă cu grosimea unei foi de hîrtie. Factorul de amplificare la triode este în general mai mic de 100.

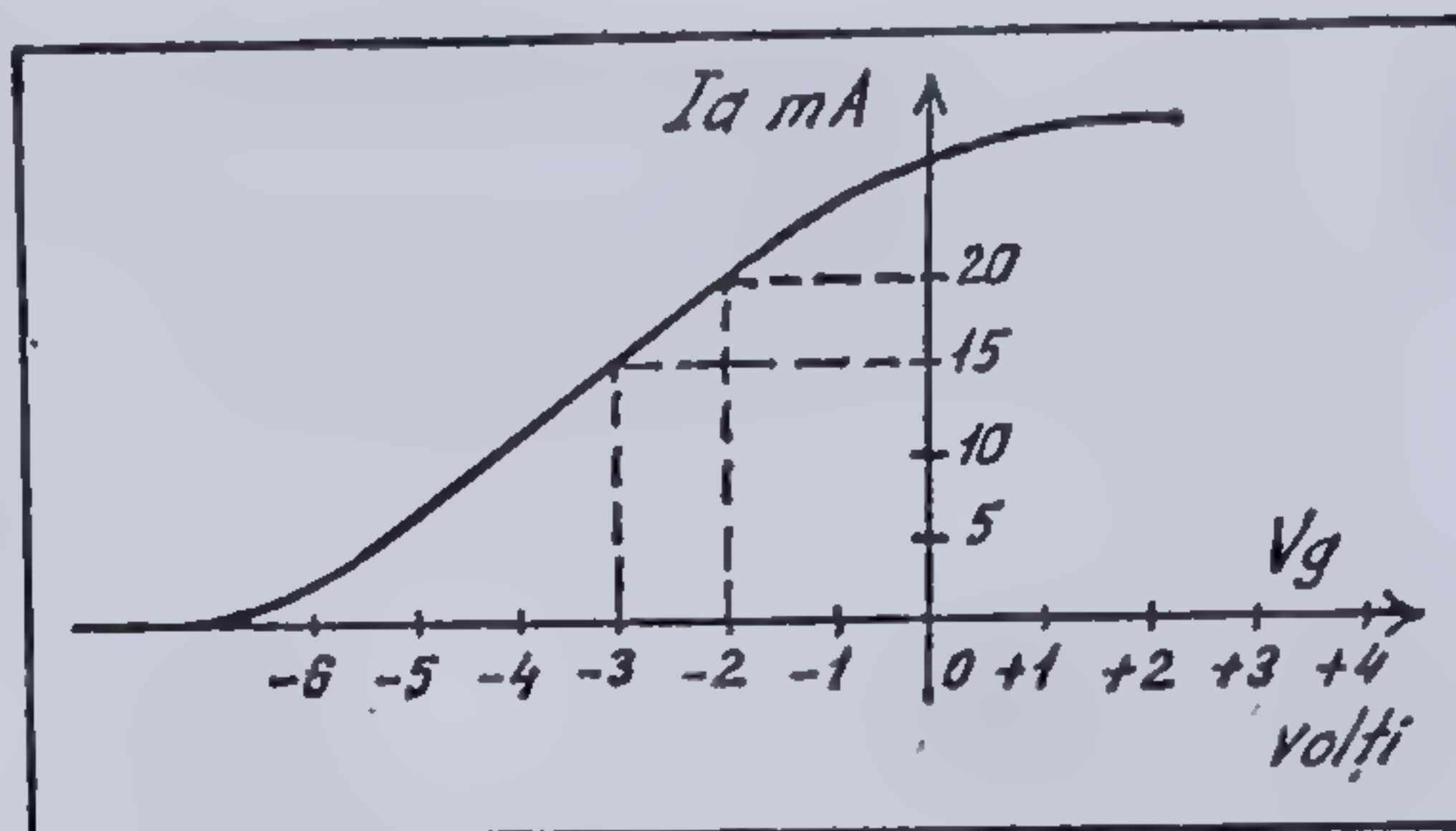
Un parametru fundamental al triodei este *panta sa*, și se definește prin raportul dintre variația curentului anodic (în miliamperi) pentru o variație de 1 volt a potențialului grilei, față de potențialul catodului. Panta se notează cu litera S , valoarea sa depinde de construcția tubului și este cuprinsă în general, între 1 și 15 mA/V (miliamperi pe volt).

CURBELE CARACTERISTICE ALE TRIODEI

Poate vă veți întreba de ce s-a ales pentru acest parametru al triodei tocmai denumirea de „pantă”. Veți înțelege deîndată ce veți studia forma curbei care indică variația curentului anodic I_a funcție de variația potențialului grilei, V_g . Vedeți că cu cît această curbă posedă o pantă mai înclinată, cu atît este mai mare variația curentului anodic I_a pentru o variație de 1 V al potențialului aplicat grilei, V_g .

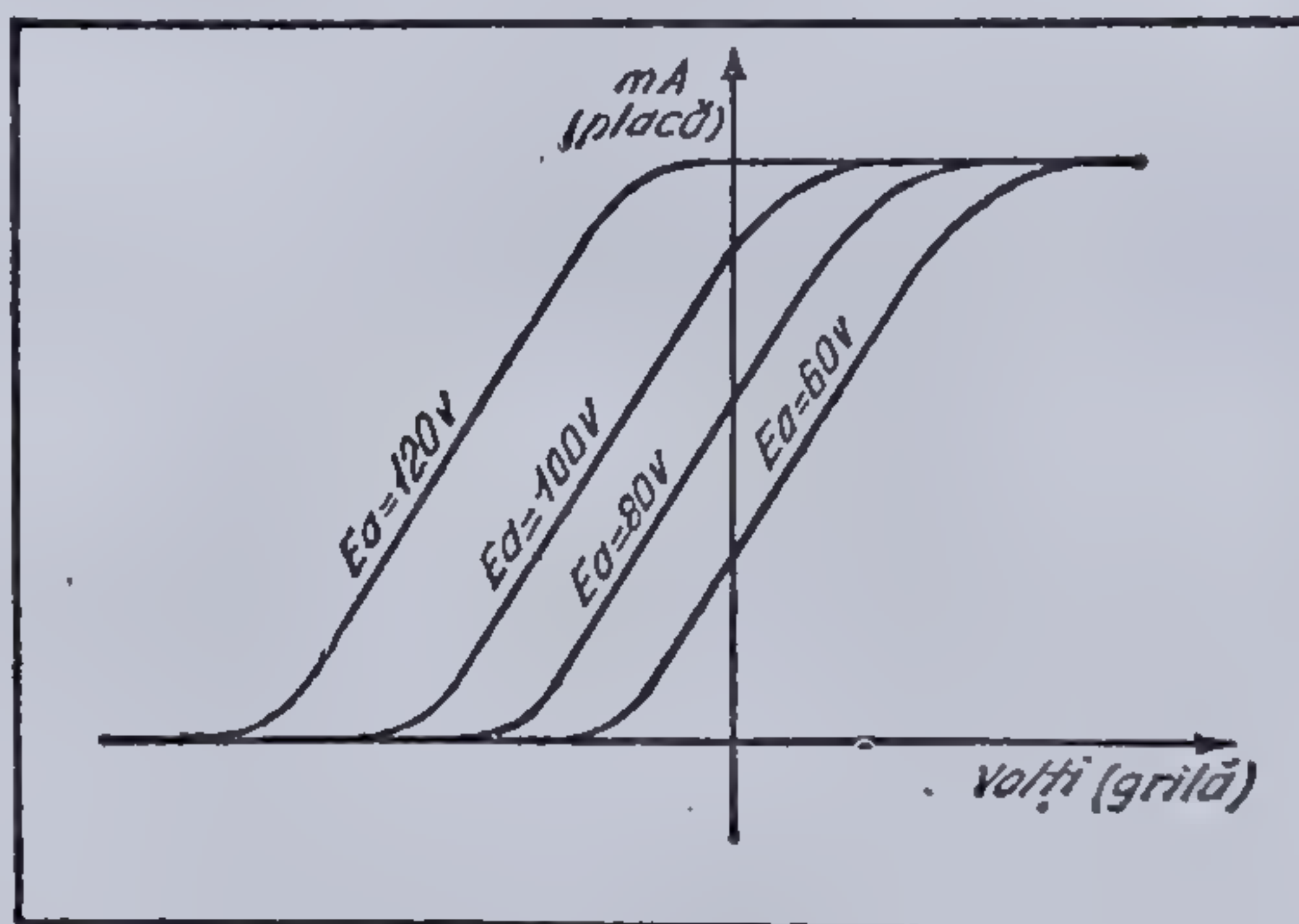
Astfel se poate trasa o întreagă familie de curbe, fiecare din ele fiind determinată de valoarea potențialului anodic, V_a , care rămîne constantă pentru fiecare curbă în parte. Cu cît potențialul anodic este mai ridicat cu atît curentul anodic ia naștere

Curbă caracteristică a triodei care indică variația curentului anodic I_a funcție de tensiunea de grilă V_g .



pentru valori din ce în ce mai negative ale potențialului grilei. Cu alte cuvinte, cu cît grila este mai negativă, cu atît ea se opune mai mult trecerii electronilor; în cazul în care însă se crește mai mult potențialul pozitiv al anodului, atracția sa permite neutralizarea acțiunii exercitată de grilă și curentul mai există încă.

Familie de curbe caracteristice $I_a = f(V_g)$. Fiecare curbă este ridicată pentru o anumită valoare a tensiunii anodice E_a .



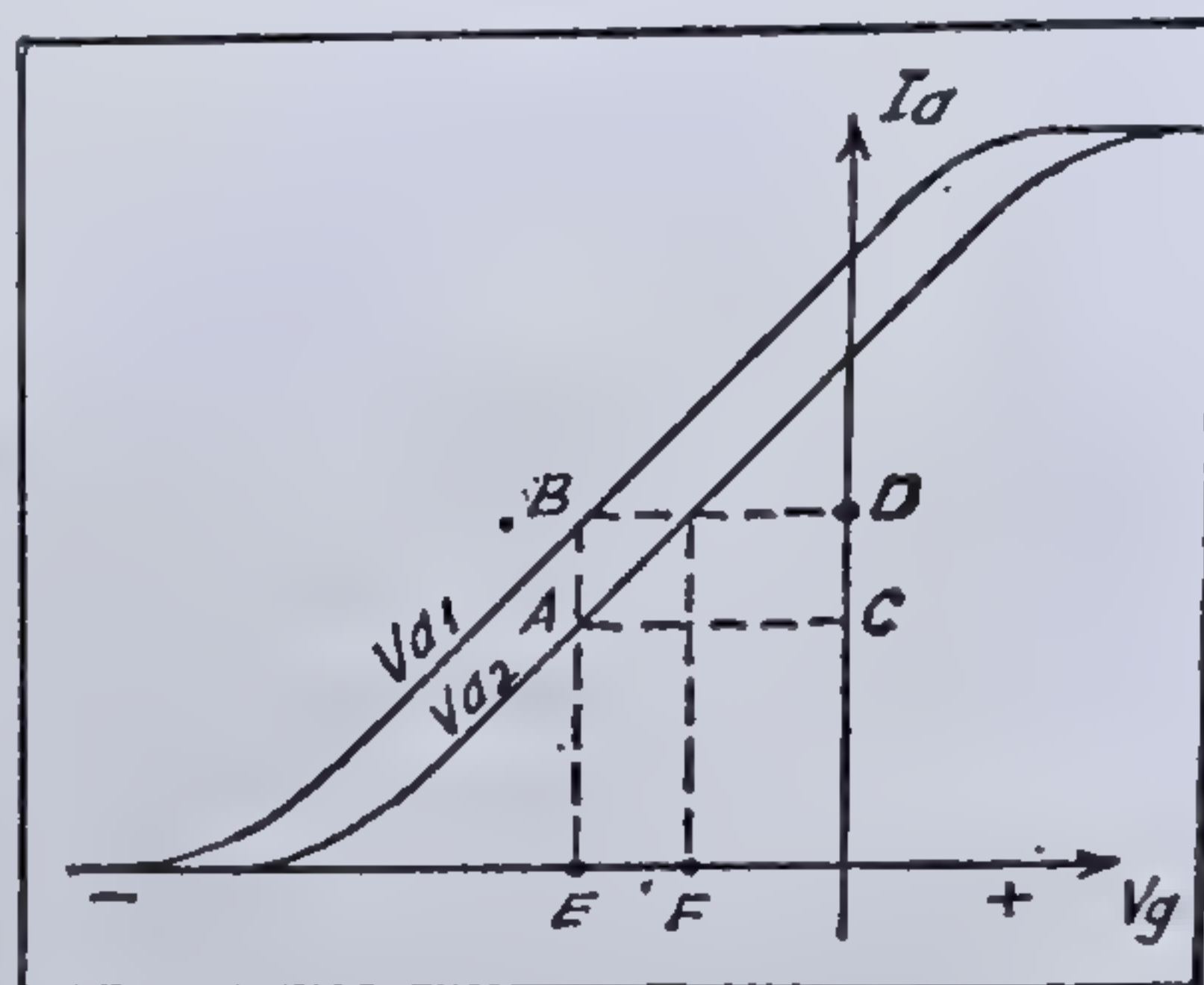
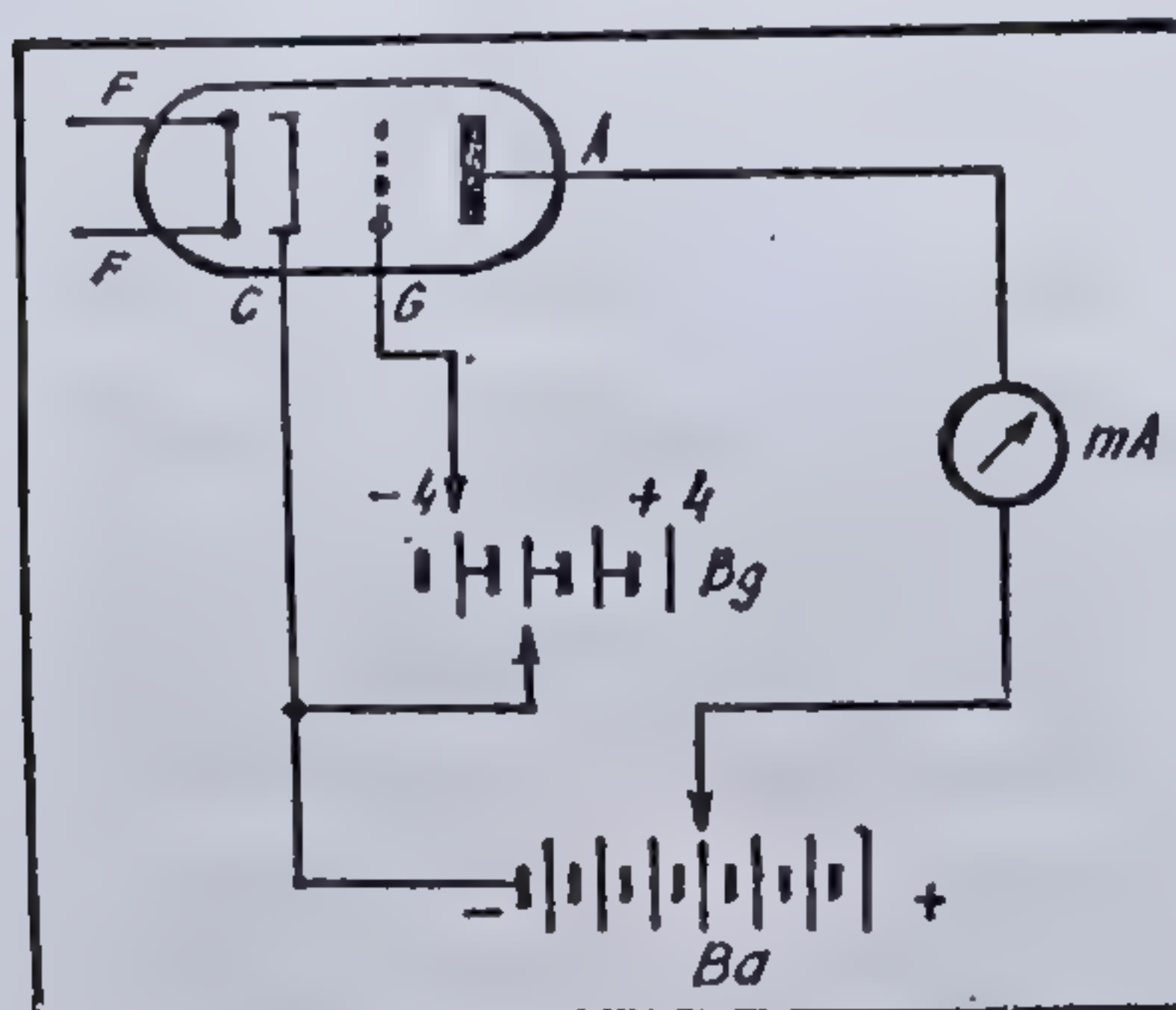
Pe cea mai mare porțiune a lor, curbele $I_a = f(V_g)$ sînt rectilinii și paralele. Cu alte cuvinte, indiferent de valoarea tensiunii anodice panta rămîne constantă.

În sfîrșit, la un moment dat, toate curbele se înclină, devin orizontale și se unesc. Cred că ați ghicit că toate acestea se produc în cazul în care curentul anodic atinge valoarea de saturație.

După cum se vede, valoarea pantei poate fi ușor determinată cu ajutorul curbelor ($I_a = f(V_g)$). Mai întîi se determină pe orizontală două puncte la distanță de 1 V. Din aceste puncte se ridică două linii verticale pînă ce acestea ating curba. Din aceste puncte ale curbei se duce două drepte orizontale, ce taie axa

curentului I_a . Diferența dintre aceste două valori citite pe axa curenților, determină valoarea pantei, respectiv pentru o anumită tensiune anodică constantă.

Tot din această familie de curbe, ($I_a = f(V_g)$ $V_a = \text{ct}$) se poate determina și valoarea amplificării în tensiune.



Schema montajului ce permite ridicarea curbelor caracteristice ale unei triode. Variația tensiunii anodice se obține prin priza B_a , iar cea a tensiunii de grilă prin priza B_g .

Cu ajutorul celor două curbe caracteristice $I_a = f(V_g)$ $V_a = \text{ct}$, se poate determina coeficientul de amplificare.

Din figură se vede că s-au trasat două curbe ($I_a = f(V_g)$) pentru două valori ale tensiunii anodice (V_{a1} și V_{a2}). Pentru determinarea amplificării se citesc valorile curentului anodic în punctele C și D corespunzătoare punctelor A și B de pe curbe, puncte ce corespund aceleiași polarități a grilei și anume cea din punctul E. Apoi pe aceeași curbă, de exemplu pe V_{a2} se constată că variația curentului anodic este aceeași ca pentru V_{a1} , în cazul în care tensiunea grilei variază din E în F. Pentru aflarea amplificării este suficient să împărțim acum diferența ($V_{a1} - V_{a2}$) la diferența ($V_{gE} - V_{gF}$).

REZISTENȚA INTERNA

Triodele mai posedă și un al treilea parametru esențial: rezistența internă a triodei. Rezistența internă se definește prin raportul dintre variația potențialului anodic dV_a și variația

curentului anodic, dI_a . Acest parametru se notează cu R_i și se determină prin formula

$$R_i = \frac{dV_a}{dI_a}$$

Valoarea sa poate fi determinată foarte ușor cu ajutorul curbelor trasate mai sus. Pe aceeași verticală (deci pentru potențial de grilă constant) vom întretaia cele două curbe (V_{a1} și V_{a2}) în A și respectiv B . Aceste puncte corespund pe axa curentului anodic valorilor din C respectiv D . Valoarea rezistenței interne se obține prin împărțirea diferenței ($V_{aB} - V_{aA}$) la diferența ($I_{aD} - I_{aC}$). În general, la triode valoarea acestui parametru este cuprinsă între câteva mii și chiar zeci de mii de ohmi.

RELATIILE CE LEAGĂ CEI TREI PARAMETRI FUNDAMENTALI AI TRIODEI

Toate proprietățile diodei sînt cuprinse în caracteristicile date mai sus. Pentru fixare, vă voi reaminti definițiile celor trei parametri fundamentali ai triodei și anume : factorul de amplificare, μ , panta, S , și rezistența internă R_i :

$$\mu = \left. \frac{dV_a}{dV_g} \right| (I_a = \text{ct}) ; S = \left. \frac{dI_a}{dV_g} \right| (V_a = \text{ct}) ; R_i = \left. \frac{dV_a}{dI_a} \right| (V_g = \text{ct})$$

Să înmulțim între ei ultimii doi parametri

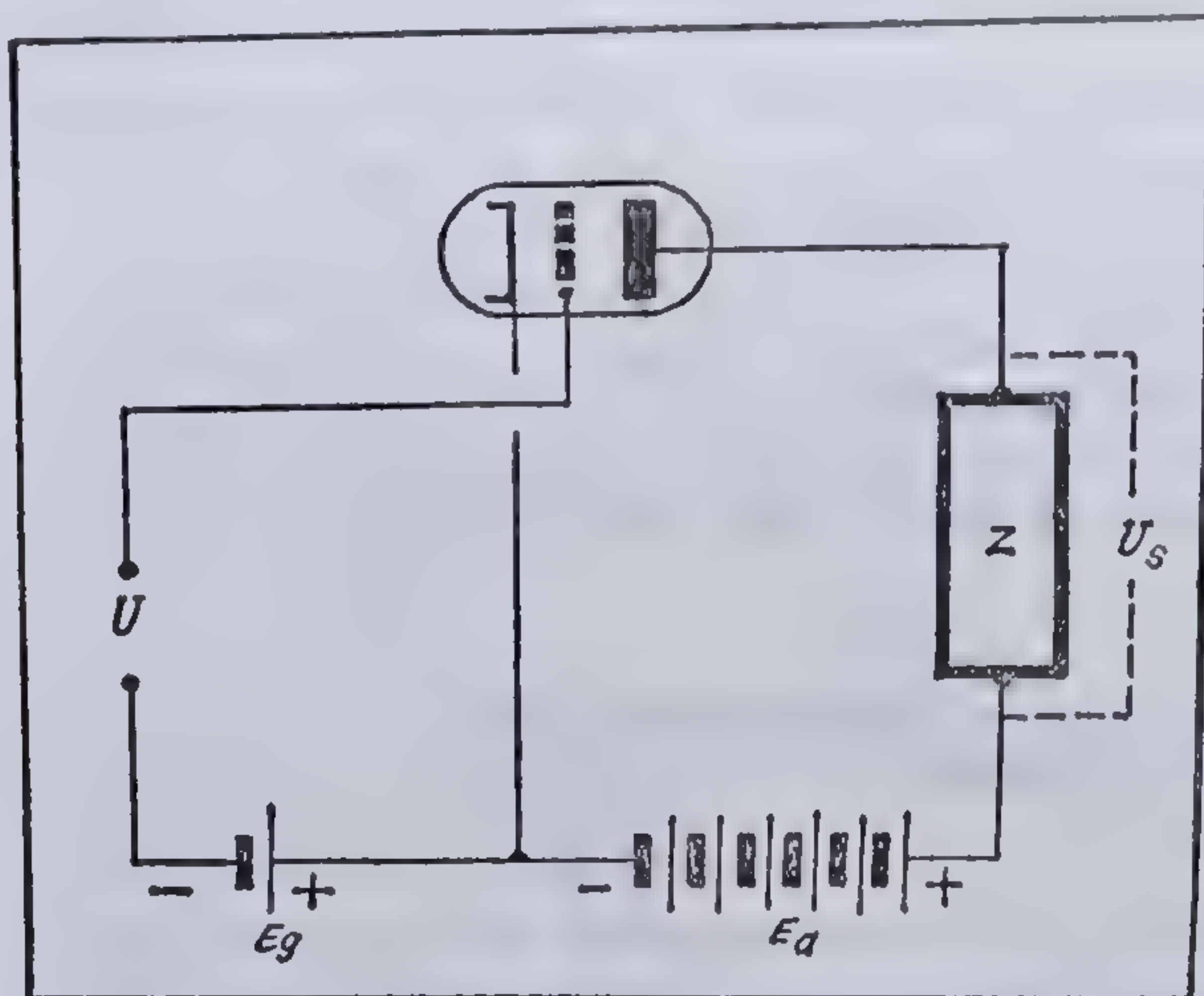
$$S \times R_i = \frac{dI_a \times dV_a}{dV_g \times dI_a} = \frac{dV_a}{dV_g} = \mu$$

Vedeți deci că factorul de amplificare este egal cu produsul dintre pantă și rezistența internă.

UTILIZAREA TRIODEI ÎN AMPLIFICAREA DE ÎNALTA FRECVENȚĂ

Văd, dragul meu Ignotus, că începi să-ți pierzi răbdarea. Sînt sigur că te întrebi la ce-ți folosesc toate cele explicate mai sus, din moment ce nu spun nimic de utilizarea triodei și rolul pe care-l joacă parametrii ei. După toate cele expuse mai sus putem trece acum foarte ușor la abordarea acestor probleme.

Înainte de toate să examinăm mai întâi utilizarea triodei în amplificare și pentru a înțelege cât mai bine fenomenul vă rog să studiați schema de mai jos.



Schema generală a unui etaj de amplificare. Tensiunea de intrare U este amplificată de către triodă, obținându-se la ieșire la bornele impedanței Z , tensiunea U_s .

Tensiunea variabilă U , este tensiunea ce urmează a fi amplificată și se aplică pe *intrarea* tubului, adică între grilă și catod. Cred că înțelegeți ușor de ce se procedează astfel. Variațiile slabe ale tensiunii aplicate între acești doi electrozi determină variațiile puternice ale curentului anodic.

Variațiile acestuia dau naștere tensiunii variabile de ieșire. În acest scop curentul anodic trece prin impedanța de sarcină anodică, Z , pe care determină o anumită cădere de tensiune variabilă U_s .

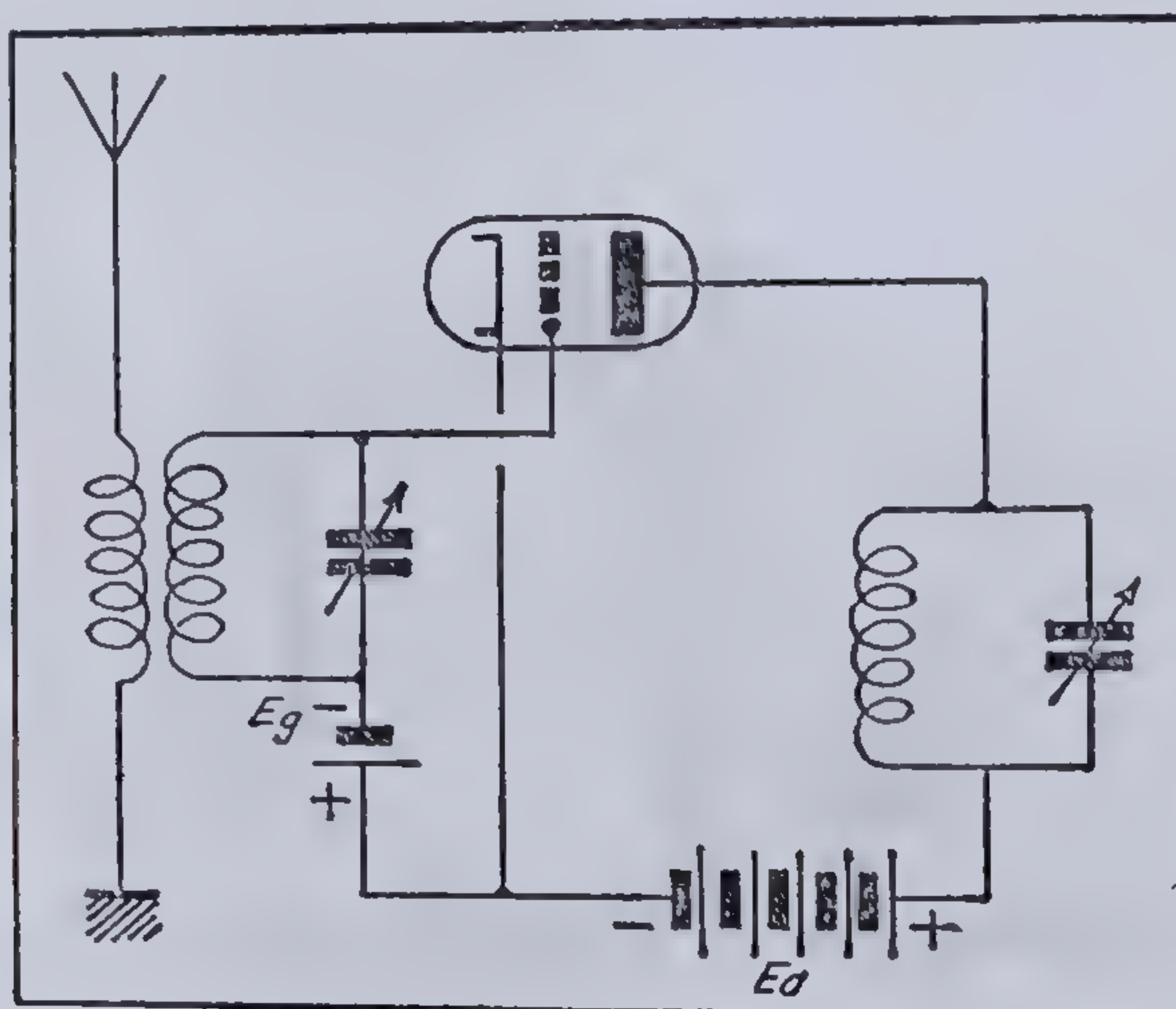
Montajul mai cuprinde o sursă de tensiune de polarizare a grilei E_g și o sursă de alimentare anodică E_a . Schema prezentată este cea mai generală schemă de amplificare.

Cunoscînd proprietățile triodel, veți înțelege foarte ușor de ce variațiile slabe ale tensiunii de intrare U determină, variații importante ale curentului anodic și deci și ale tensiunii de ieșire U_s .

Se înțelege că sursele de alimentare pot fi de diverse feluri: baterla care furnizează tensiunea anodică continuă poate fi în-

locuită cu tensiunea redresată a rețelei de alimentare ; la rândul ei tensiunea de polarizare a grilei se poate obține și cu ajutorul unei căderi de tensiune pe o rezistență. Nu vă speriați, vi le explic în curînd pe toate în detaliu.

Să presupunem acum un caz concret de etaj de amplificare de înaltă frecvență, așa cum apare el în circuitul oscilant de intrare al unui receptor.



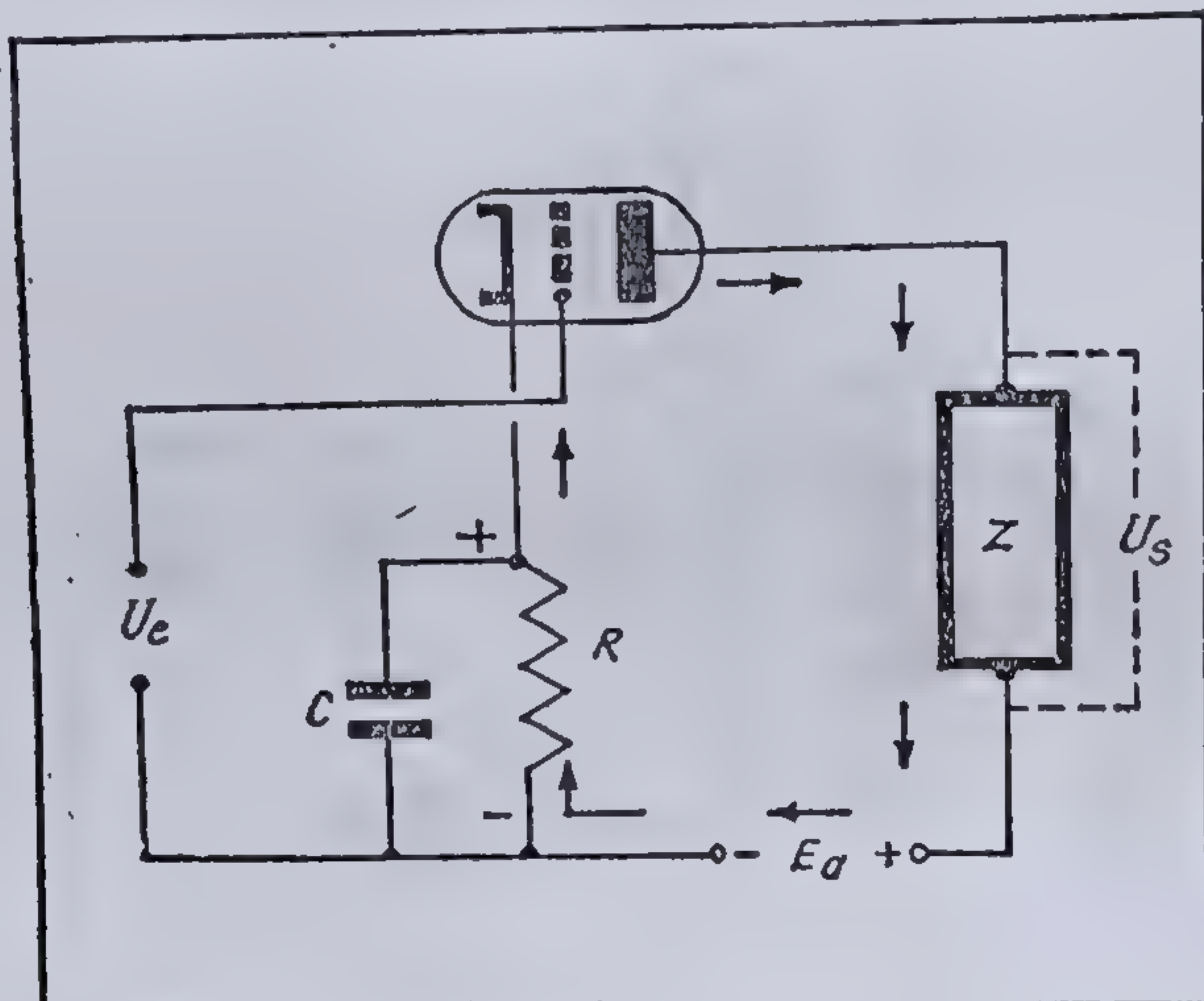
Grila poate fi polarizată negativ cu ajutorul pilei E_g .

Tensiunile de intrare se obțin prin trecerea unui curent foarte slab printr-un circuit oscilant. Aceste tensiuni se aplică între grilă și catodul tubului, grila fiind polarizată negativ cu ajutorul sursei E_g .

Ce fel de impedanță va poseda în ieșire etajul nostru ? Nici mai mult nici mai puțin decît un circuit oscilant acordat pe aceeași înaltă frecvență proprie circuitului de intrare. În acest caz impedanța sa la rezonanță (și acesta este cazul nostru) posedă o valoare foarte mare, iar variațiile curentului anodic vor da naștere la bornele circuitului oscilant, unor tensiuni variabile de valori mult superioare celor din intrare. Notați în plus că, dat fiind valoarea în curent continuu sau rezistența ohmică foarte mică a bobinei curentului oscilant aceasta reduce neglijabil tensiunea continuă aplicată între anod și catod, astfel încît polarizarea anodului rămîne tot timpul pozitivă.

POLARIZAREA PRIN CĂDERE DE TENSIUNE PE O REZISTENȚĂ

Pentru a nu vă pune prea mult la încercare răbdarea, vă voi arăta acum cum se poate obține foarte ușor polarizarea negativă a grilei printr-o cădere de tensiune realizată prin trecerea unui curent printr-o rezistență.



În această schemă polarizarea negativă a grilei se obține printr-o cădere de tensiune provocată de trecerea curentului anod-catod prin rezistența R .

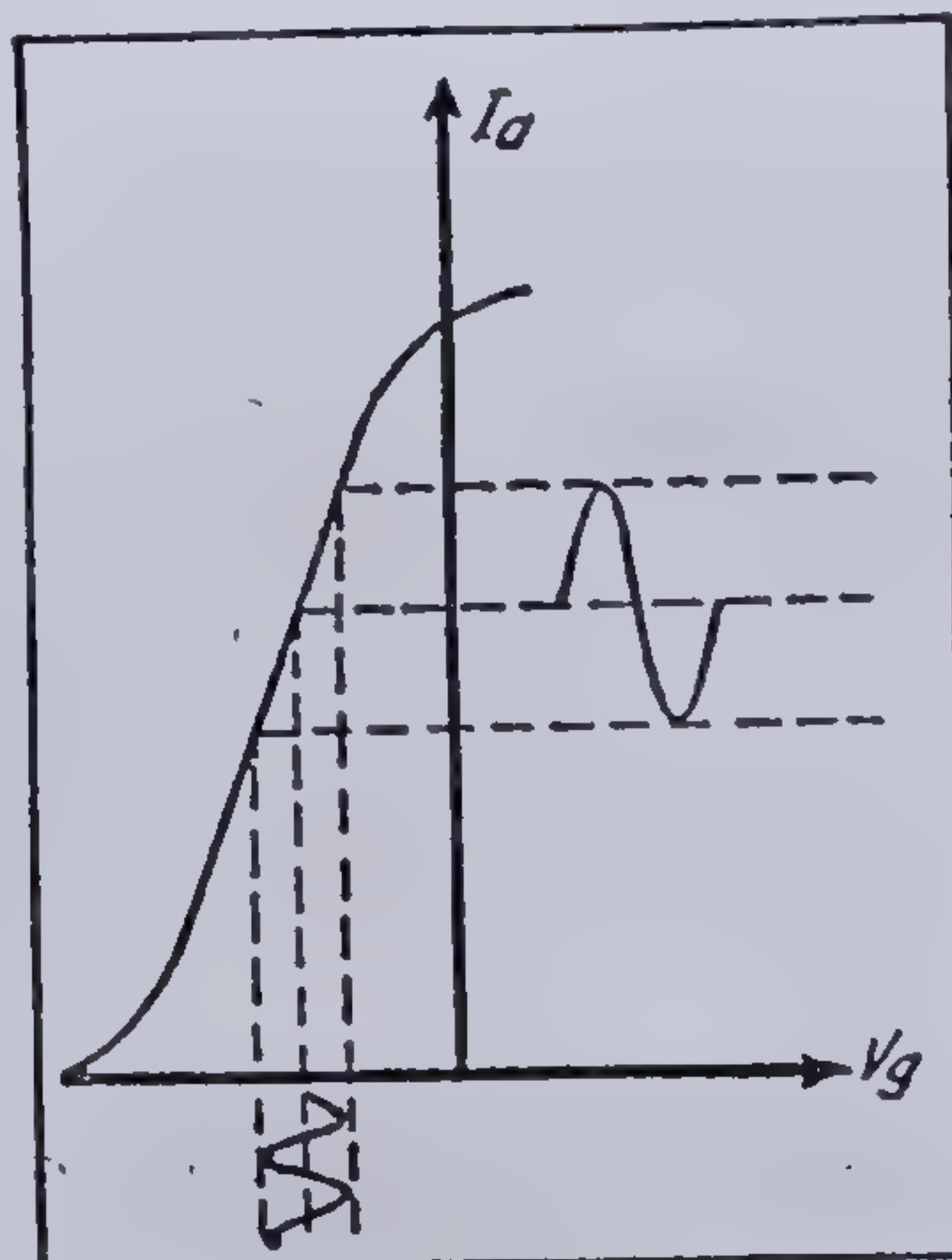
Din nou mă voi referi la o schemă și anume la cea prezentată mai sus. Între catod și polul negativ al bateriei de alimentare a anodului E_a se conectează o rezistență R . Curentul anodic traversează această rezistență plasată în drumul său și determină la capetele ei o cădere de tensiune. Prin aceasta catodul devine mai pozitiv decât polul negativ al bateriei E_a . Dar dacă ne uităm atent observăm că tot la acest pol negativ, abstracție făcînd de intrarea în curent alternativ, U_s , este legată și grila tubului, astfel încît prin cele descrise mai sus, rezultă că aceasta este mai negativă decât catodul.

Mai există însă o problemă, componenta alternativă a curentului anodic nu trebuie să treacă prin rezistența R de polarizare a catodului, deoarece prin aceasta grila ar fi polarizată cu o ten-

siune alternativă, tensiune ce este în opoziție de fază cu tensiunea de intrare. Situația respectivă ar duce la scăderea amplificării.

Pentru evitarea acestui inconvenient se conectează în paralel pe rezistența R un condensator C , care pentru componenta alternativă a curentului catodic este, prin impedanța sa, un scurt circuit. În consecință prin R nu va mai trece decât componenta continuă a curentului anodic.

Valoarea rezistenței trebuie astfel aleasă încât tensiunea de polarizare obținută să situeze tensiunea de negativare a grilei într-un punct ce corespunde porțiunii rectilinii a caracteristicii



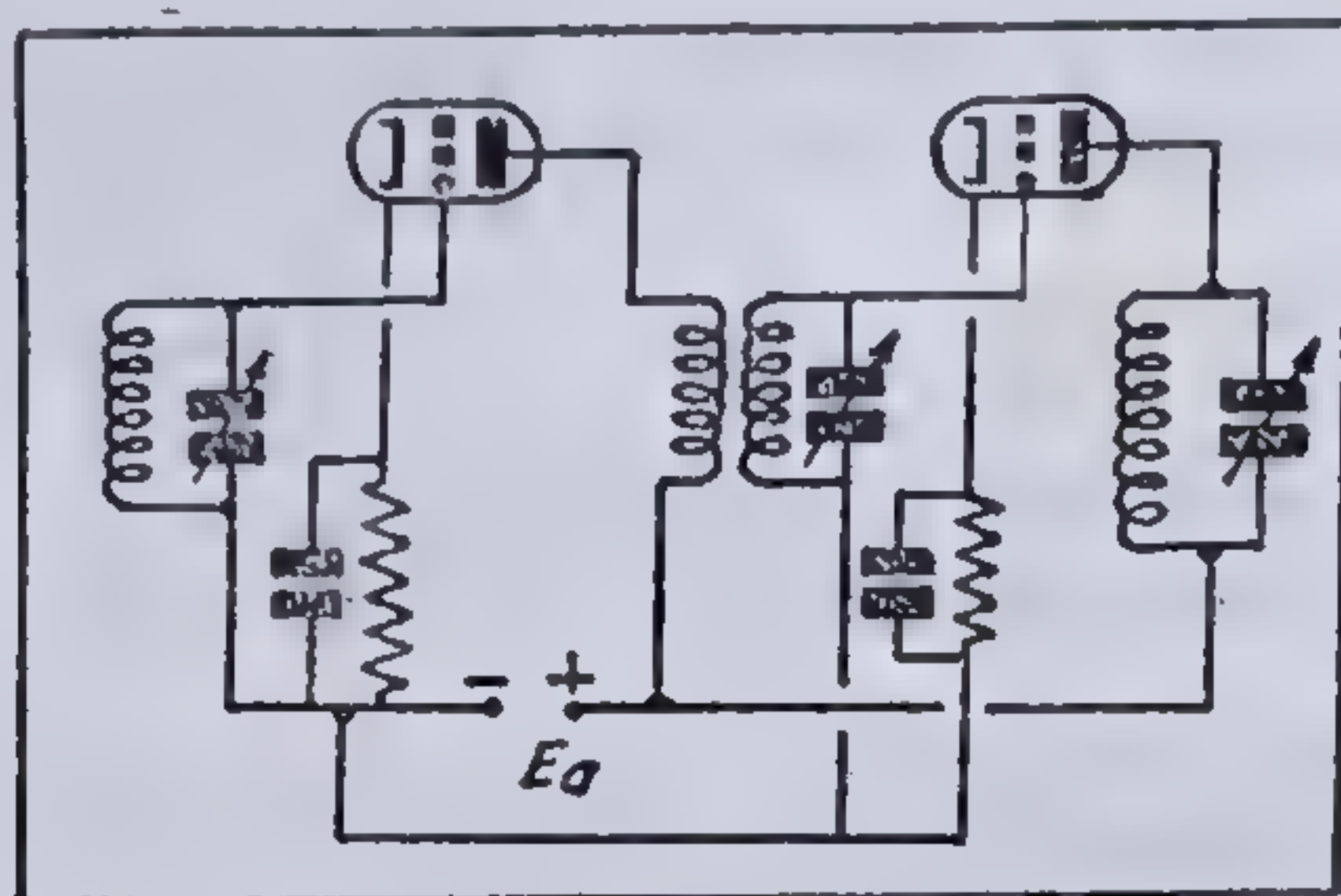
În procesul de amplificare variațiile tensiunii de grilă trebuie să fie limitate numai în cadrul porțiunii rectilinii a caracteristicii $I_a = f(V_g)$.

$I_a = f(V_g)$. Variațiile maxime ale tensiunii variabile de intrare nu trebuie să depășească această porțiune, astfel încât variațiile curentului anodic să fie proporționale acestei tensiuni.

LEGĂTURA SAU CUPLAJUL ÎNTRE ETAJELE DE AMPLIFICARE

Vă puteți da ușor seama că, dat fiind variațiile foarte slabe ale tensiunii obținute în circuitul de intrare al antenei, amplificarea corespunzătoare a semnalului se va realiza numai prin conectarea în serie a mai multor etaje de amplificare.

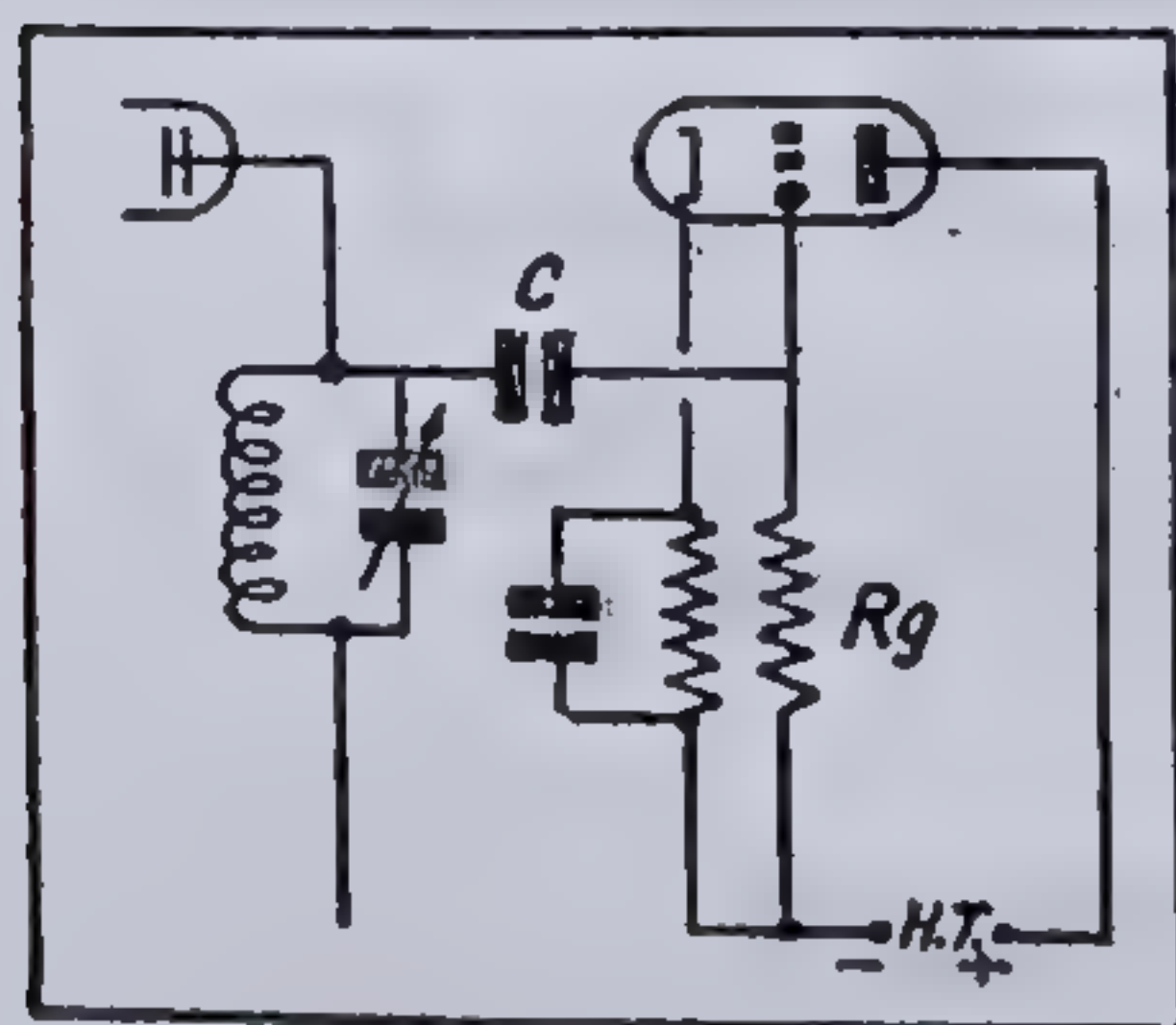
În acest scop tensiunea de ieșire obținută de la etajul precedent trebuie să furnizeze tensiunea de intrare etajului următor. Să vedem prin ce metode se poate realiza acest lucru în etajele de înaltă frecvență.



Cuplarea prin transformator cu secundar acordat a două etaje de amplificare de înaltă frecvență.

Una din metodele de cuplare se realizează cu ajutorul unui transformator de înaltă frecvență al cărui primar este plasat în circuitul anodic al primului etaj de amplificare cu triodă, iar secundarul este conectat în circuitul de intrare al etajului următor, adică între grila și catodul celei de a doua triode. Una din înfășurări trebuie să fie acordată pe înaltă frecvență. De fapt se pot acorda pe această frecvență atât înfășurarea primarului cât și cea a secundarului.

Un alt mod de cuplare între etaje se realizează prin intermediul unui condensator, care transmite tensiunile variabile realizate în circuitul anodic al primei triode, pe grila tubului următor.



Cuplarea a două etaje de amplificare prin intermediul unui condensator.

În acest caz tensiunea de polarizare a grilei celei de a doua triode — aceasta nu poate fi lăsată în aer — se obține cu ajutorul rezistenței R_g , care în general posedă o valoare destul de mare...

Observ că banda de magnetofon se apropie de sfârșit. Trebuie să mă opresc deci. Și totuși mai sînt atîtea lucruri de spus cu privire la tuburile electronice. Dar le las cu încredere spre rezolvare în grija nepotului meu.

Convorbirea a 7-a

Amplificarea în A. F.

După ce explică cum reușește o triodă să amplifice și să detecteze în același timp, Curiosus descrie diverse metode de amplificare a tensiunilor de joasă frecvență. El trece în revistă cuplajele prin transformator și prin rezistență—capacitate, care asigură trecerea tensiunilor amplificate de la un etaj la altul. În încheiere, Curiosus prezintă diversele variante ale circuitului în contratimp.

CUM SE REALIZEAZĂ SIMULTAN AMPLIFICAREA ȘI DETECȚIA

IGNOTUS : Am ascultat cu multă atenție explicațiile unchiului tău despre triodă și despre utilizarea ei în amplificatoarele de înaltă frecvență. Acum aș vrea să trecem la partea de audiofrecvență, trecînd peste detecția pe care ne-o asigură dioda.

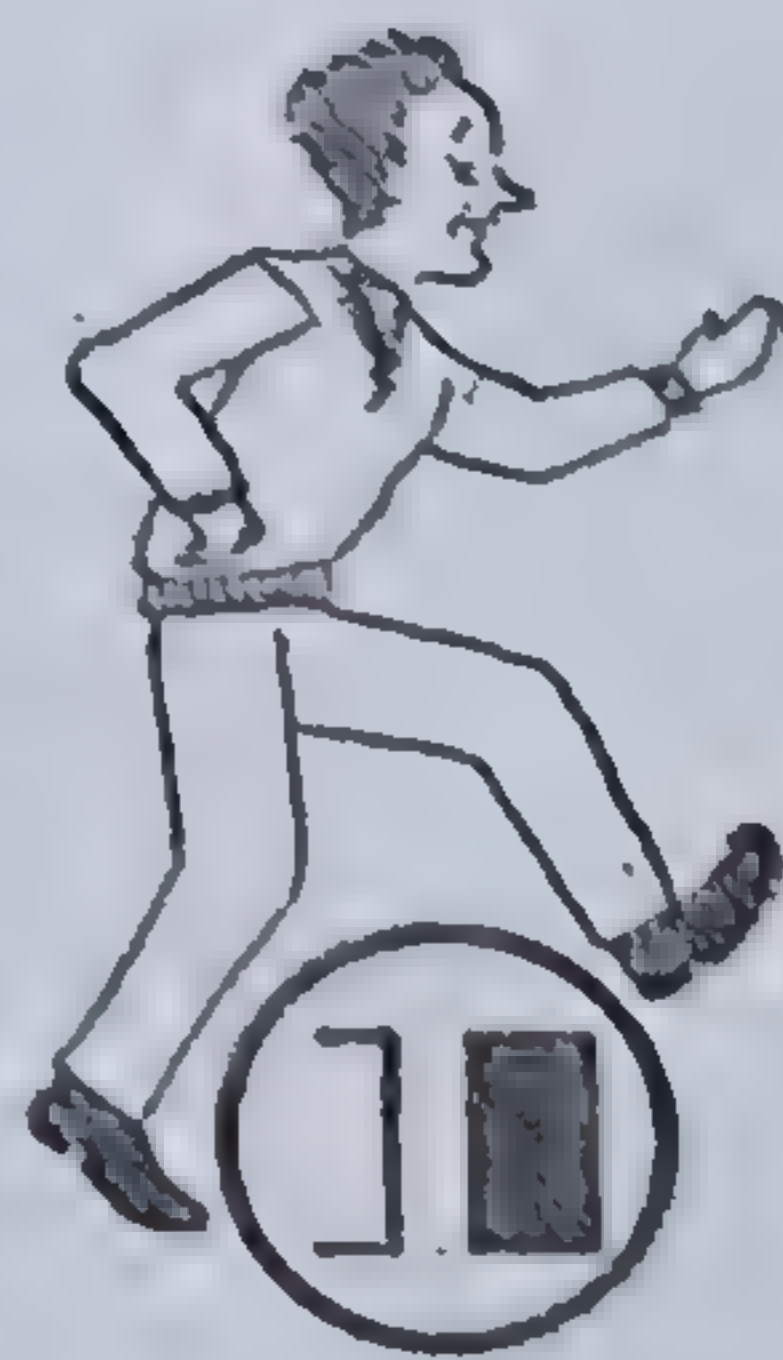
CURIOSUS : Știi că detecția se poate face și cu o triodă ?

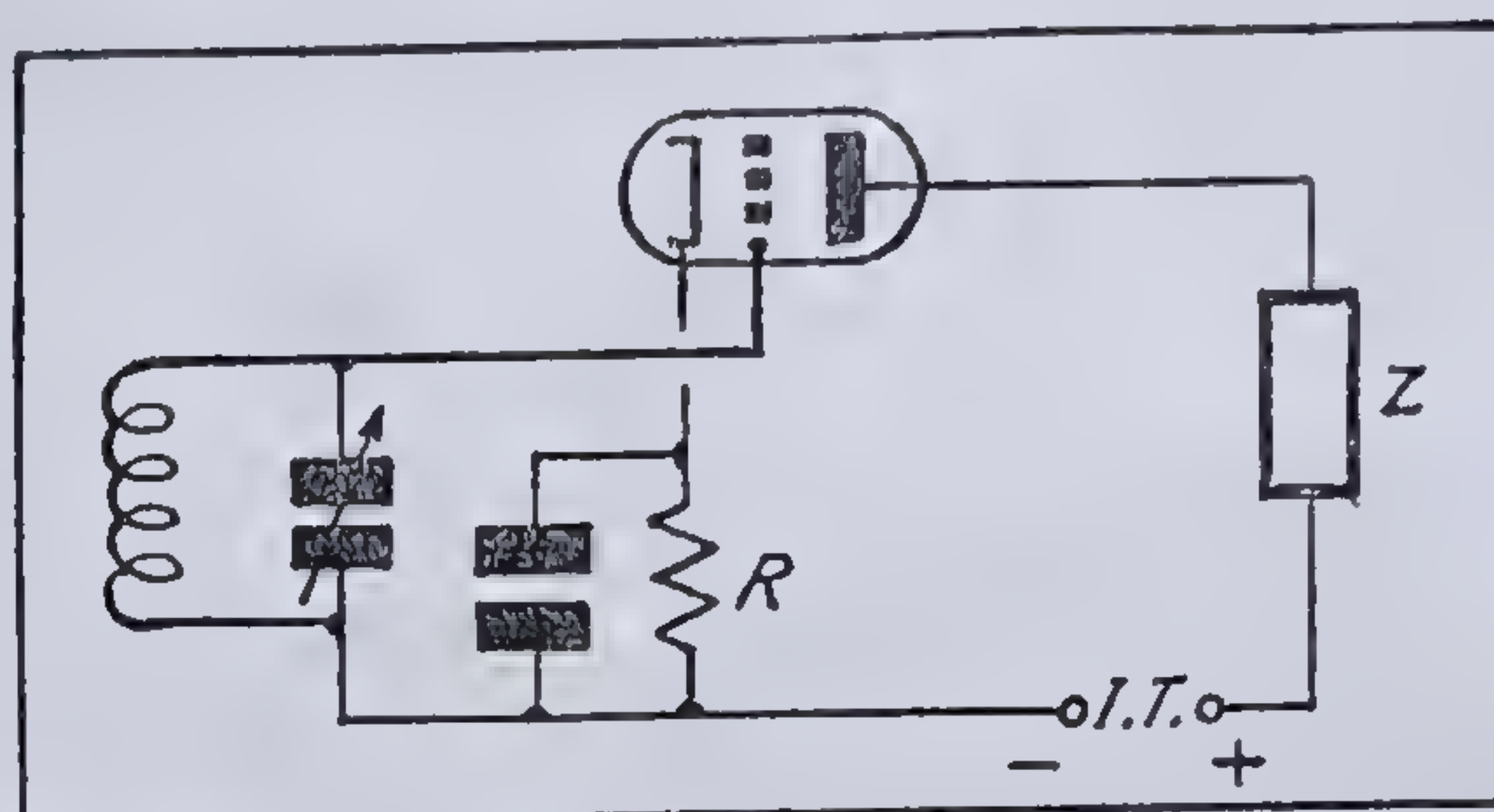
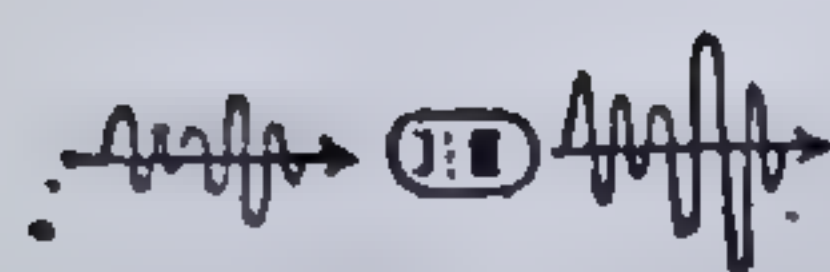
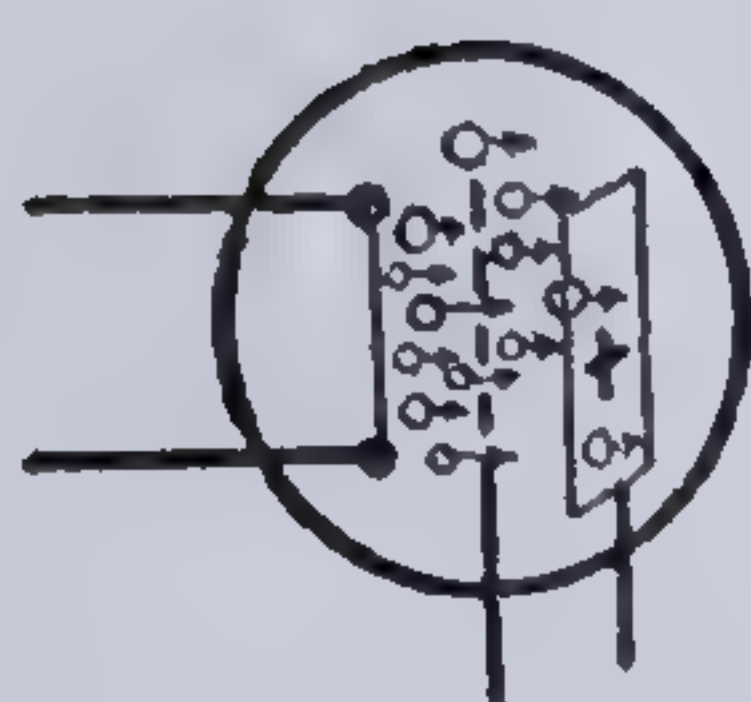
IGNOTUS : Se transformă cumva trioda în diodă, legînd grila la anod ?

CURIOSUS : Se poate proceda și așa ; dar această soluție nu este folosită, deoarece nu prezintă nici un avantaj față de utilizarea unei simple diode. În schimb, îți voi arăta un circuit care asigură detecția și amplificarea în același timp. Pe impedanța Z din circuitul anodic apare o tensiune de audiofrecvență mai mare decît cea care se obține la detecția cu diodă.

IGNOTUS : Îți bați joc de mine ? Schema reprezintă pur și simplu un etaj de amplificare de înaltă frecvență, identic cu cele descrise de unchiul tău.

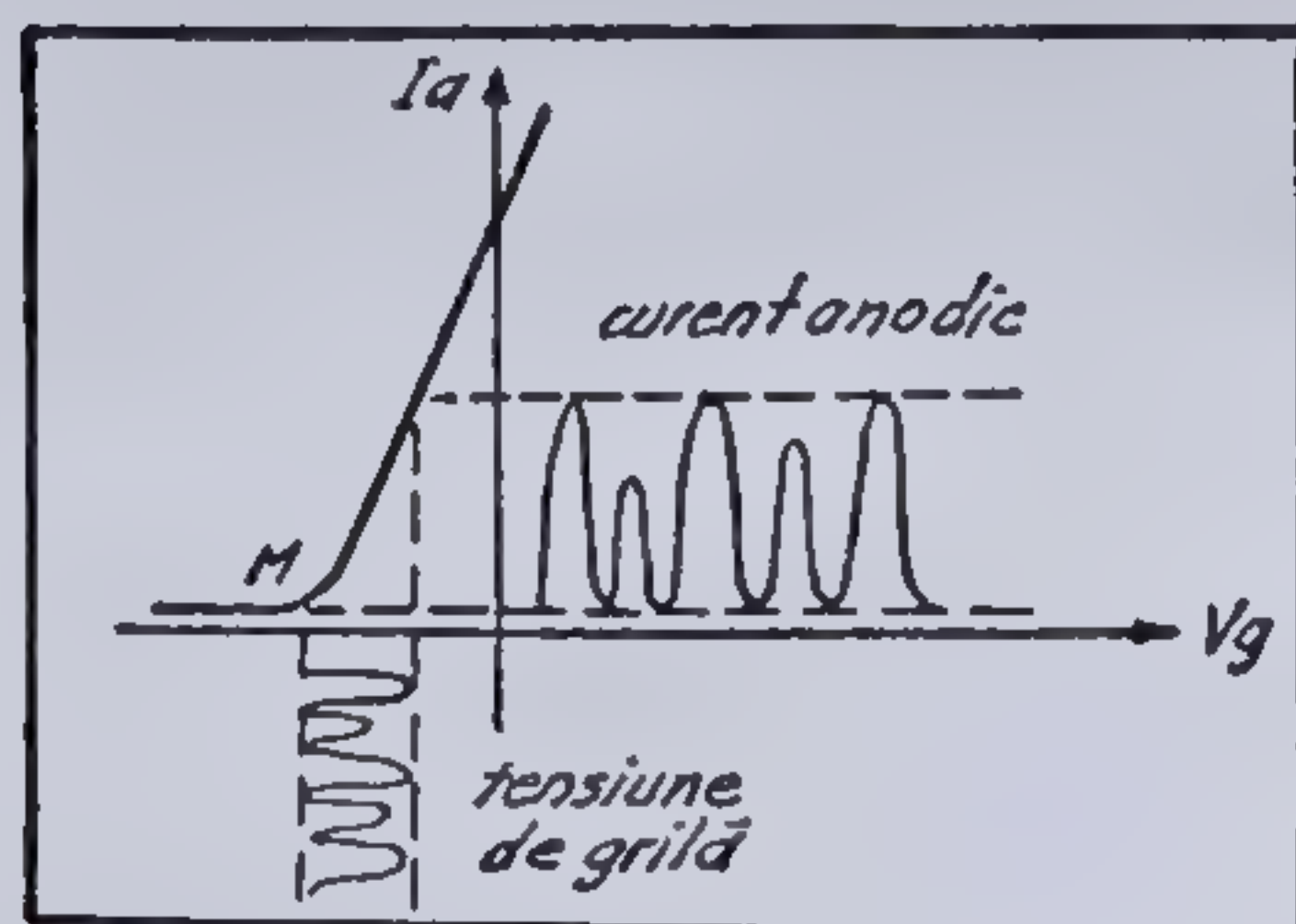
CURIOSUS : Ai dreptate. Dar rezistența de polarizare R are o valoare suficient de ridicată pentru ca punctul de func-





Datorită valorii mari a rezistenței de polarizare R , tubul efectuează, în același timp, amplificarea și detecția tensiunii de IF aplicate pe grilă.

ționare să corespundă celei mai mici valori a curentului anodic. Pe curba curentului anodic, acest punct este situat mult la stînga.



Detecție datorită curburii caracteristicii anodice în punctul de funcționare M .

În aceste condiții, alternanțele pozitive ale tensiunii de înaltă frecvență, aplicată pe grilă, dau naștere unui curent anodic amplificat. Alternanțele negative reduc foarte puțin curentul anodic, pentru că și înainte de aplicarea tensiunii, acest curent era aproape nul.

Vezi deci că tensiunea care apare pe impedanța Z este formată, aproape exclusiv, din valori care corespund alternanțelor pozitive ale tensiunii de înaltă frecvență aplicată pe grilă. Iată deci că această tensiune este în același timp amplificată și detectată.

IGNOTUS : Constat că trioda are posibilități de-a dreptul universale. Poți să-i ceri cumva să amplifice și tensiunile de audiofrecvență? Presupun că amplificarea înaltei frecvențe permite să se mărească sensibilitatea receptorului, în timp ce amplificând joasa frecvență, mărim intensitatea audierii.

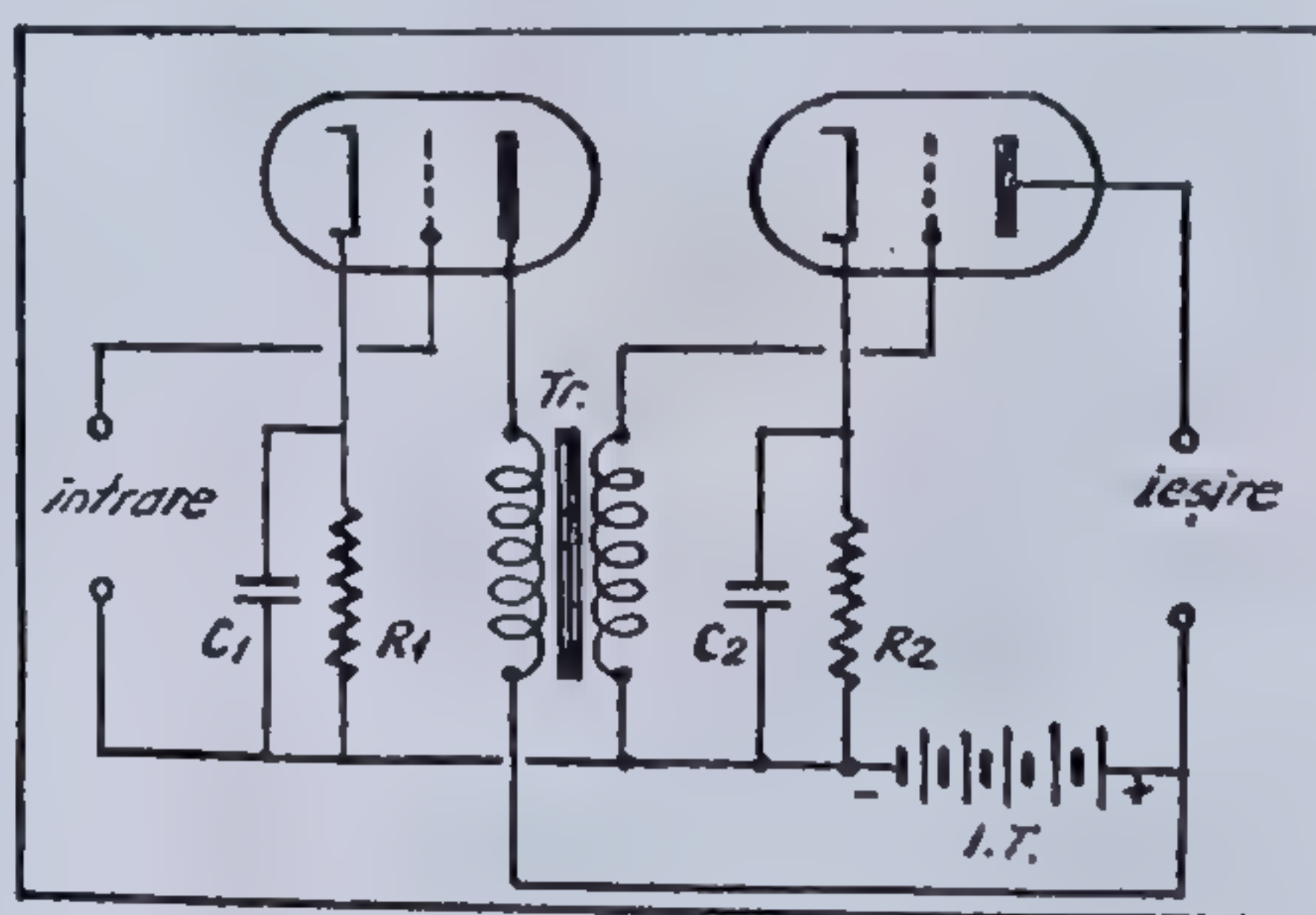
AMPLIFICAREA FRECVENȚELOR AUDIO

CURIOSUS : Uiti că amplificarea înaltei frecvențe asigură, datorită circuitelor acordate, o selectivitate bună. În plus, detecția este mult mai eficace atunci când amplitudinea tensiunii de detectat este destul de mare.

Ai însă dreptate când spui că amplificarea AF asigură un sunet mai puternic. Pentru difuzor este necesară o anumită putere. Într-un radioreceptor obișnuit, câțiva wați ajung pe deplin. Dar atunci când trebuie să se transmită sunetul într-o sală mare, difuzoarele trebuie să li se aplice zeci de wați, iar în aer liber sute de wați.

În mod normal, puterea necesară difuzorului este furnizată de *etajul final*. Rolul celorlalte etaje de AF, care preced etajul final, se reduce doar la amplificarea tensiunii obținute după detecție.

IGNOTUS : Cum se transmite tensiunea de AF de la un etaj la altul ?



Două etaje amplificatoare de AF cuplate între ele prin transformatorul Tr.

CURIOSUS : Există mai multe modalități de cuplaj între etaje. Cuplajul se poate realiza cu ajutorul unui transformator de AF, al cărui bobinaj primar este intercalat în circuitul anodic al etajului precedent ; secundarul este conectat între grila și catodul etajului următor (în serie cu circuitul de negativare format dintr-o rezistență în derivație cu un condensator).

IGNOTUS : Cum este construit un asemenea transformator ? Văd că are miez magnetic.

CURIOSUS : Miezul este absolut necesar în audiofrecvență. Pentru a evita apariția unor curenți Foucault importanți, miezul este format din tole de fier, izolate unele de altele.

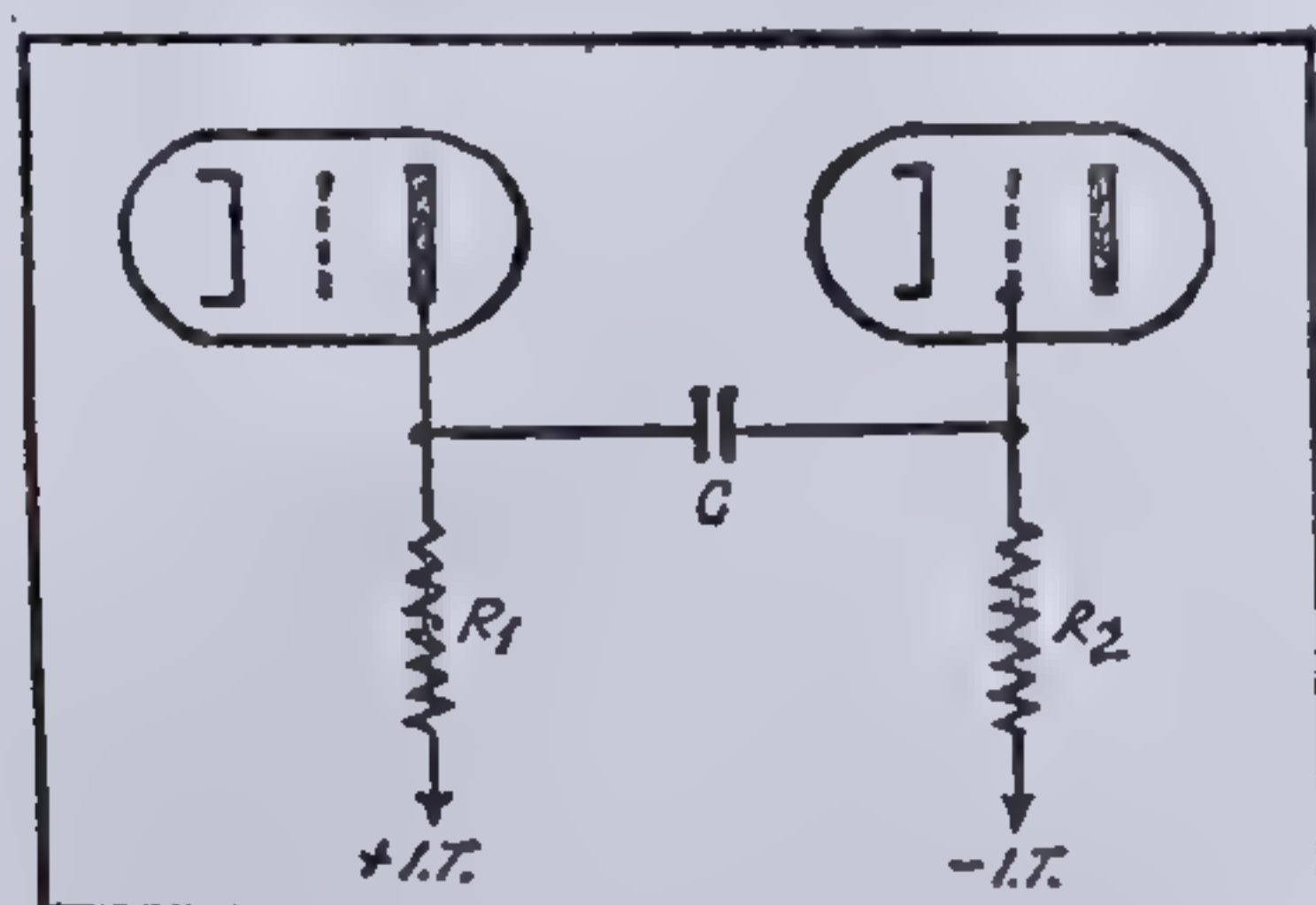
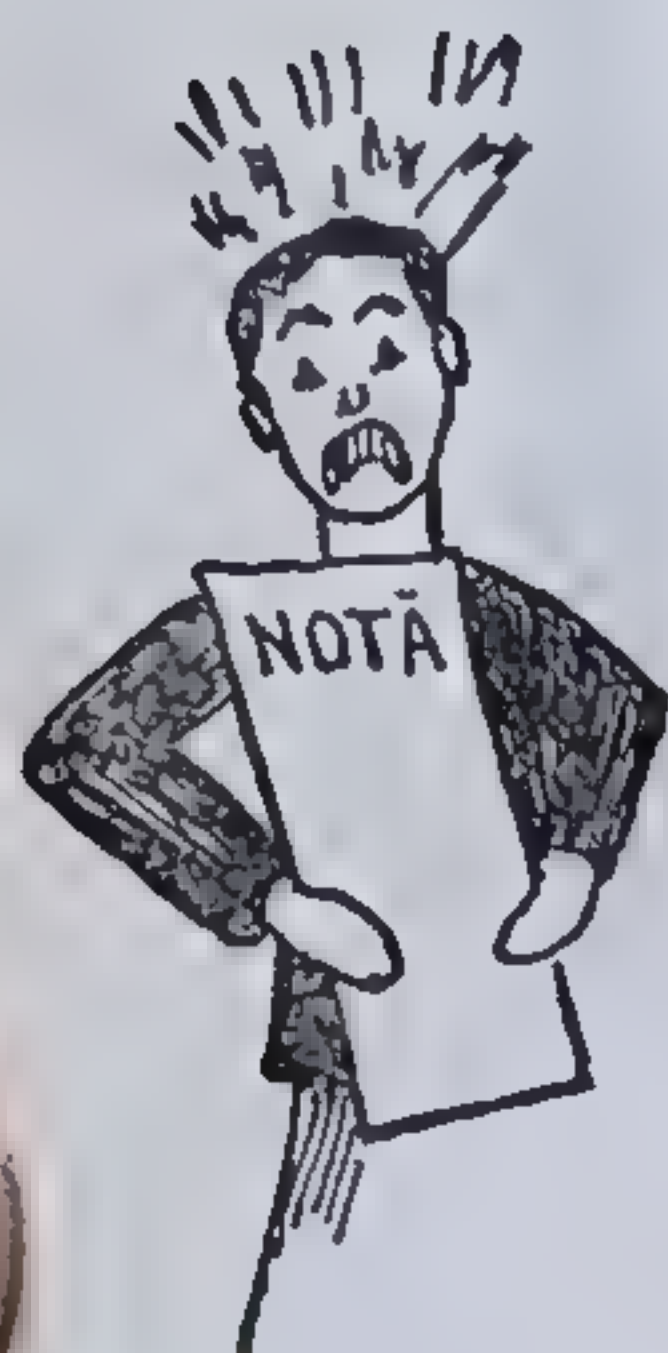
IGNOTUS : Deci, dacă am înțeles bine, variația curentului anodic din primar induce în secundar o tensiune variabilă care se aplică la intrarea triodei următoare.

CUPLAJ PRIN REZISTENȚĂ — CAPACITATE

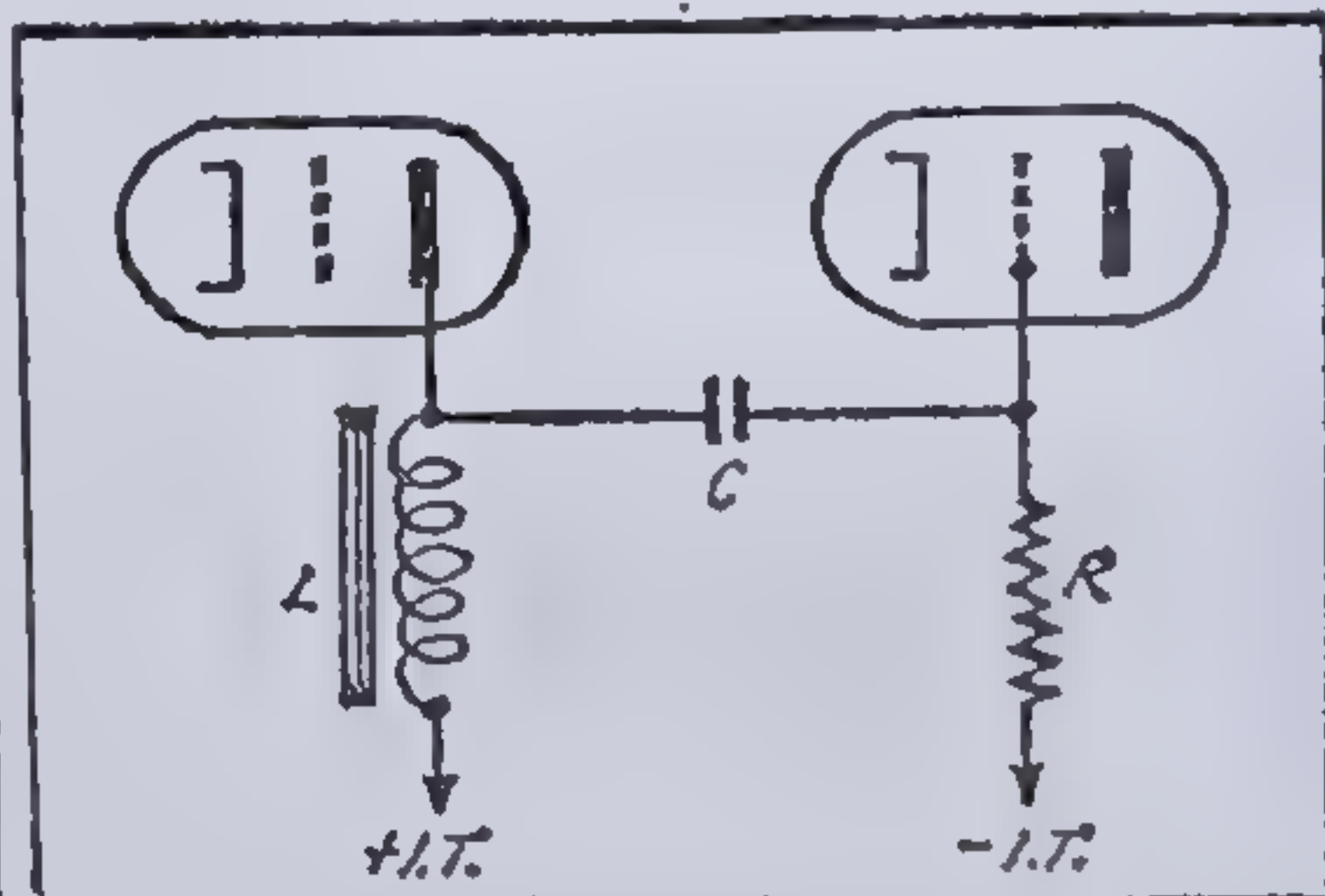
CURIOSUS : Așa este. Îți atrag atenția că trebuie să se utilizeze transformatoare de calitate bună, capabile să permită trecerea uniformă a întregii benzi a frecvențelor audio, ceea ce nu este deloc simplu.

Dacă prețul unui astfel de dispozitiv ți se pare prea mare, poți realiza cuplajul dintre două etaje de AF cu ajutorul a două rezistențe și al unui condensator. Va trebui să conectezi o rezistență în circuitul anodic al etajului precedent. Tensiunile variabile de pe această rezistență le vei transmite prin intermediul unui condensator pe grila tubului următor.

Cum nu vei putea să lași grila în aer, deoarece condensatorul nu asigură potențialul continuu necesar pentru a fixa punctul de funcționare al tubului, vei lega grila la polul negativ al sursei de înaltă tensiune printr-o rezistență de valoare mare, numită uneori *rezistența de fugă*. În circuitul anodic se mai poate utiliza o bobină cu miez magnetic, în locul rezistenței anodice.



Cuplaj prin rezistență și capacitate între două etaje de AF.



Cuplaj prin bobină și capacitate.

IGNOTUS : Nu s-ar putea folosi cuplajele prin rezistență — capacitate în amplificarea de IF ?

CURIOSUS : Ba da, pentru că funcționarea acestui tip de circuit nu depinde practic de frecvență. Dar ceea ce este util în AF, nu este avantajos în IF unde trebuie asigurată o selectivitate bună, care nu poate fi obținută decât întrebuintând circuite acordate.

SCHEMA ÎN CONTRA-TIMP

IGNOTUS : Cîte etaje de AF există de obicei într-un radio-receptor ?

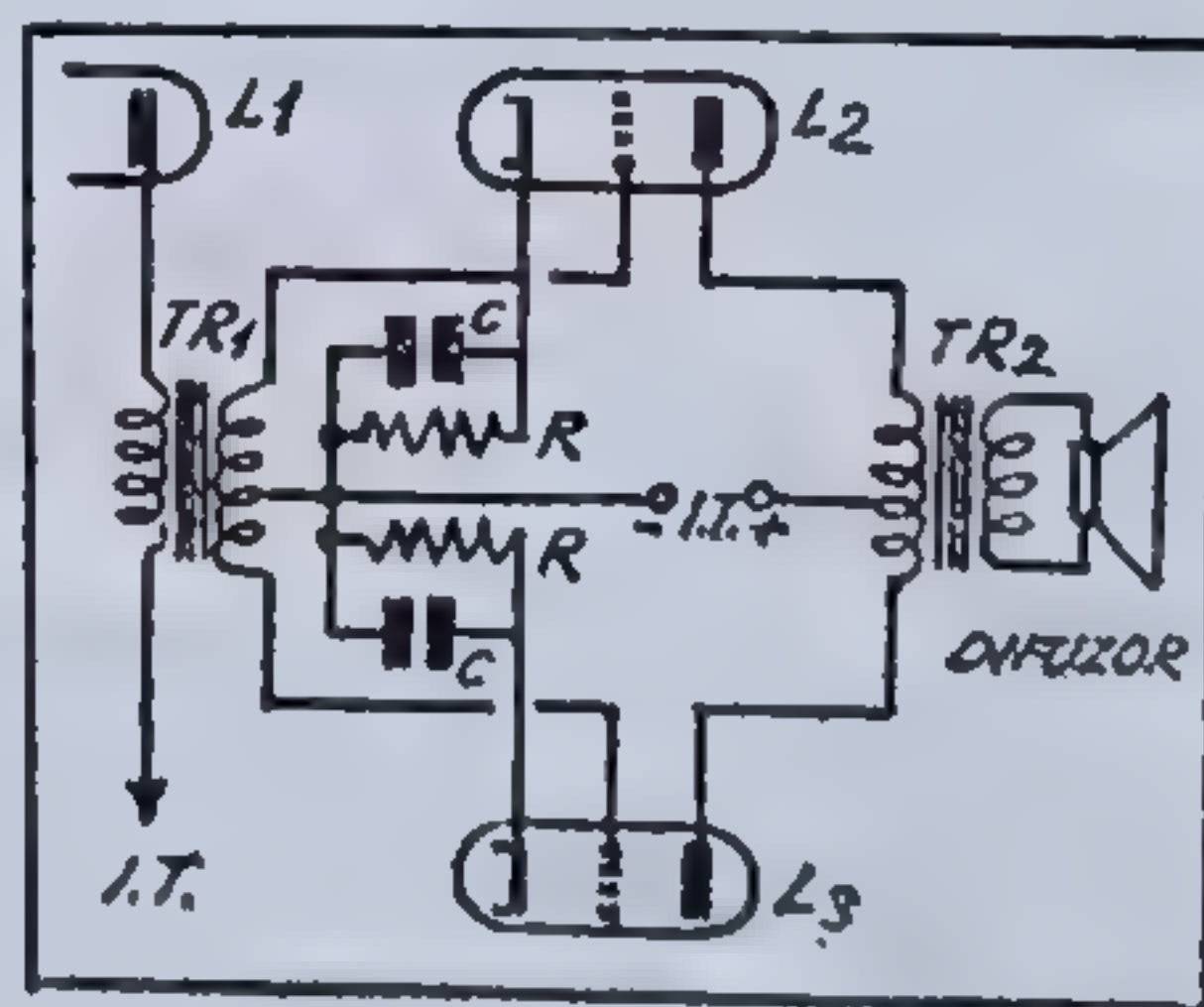
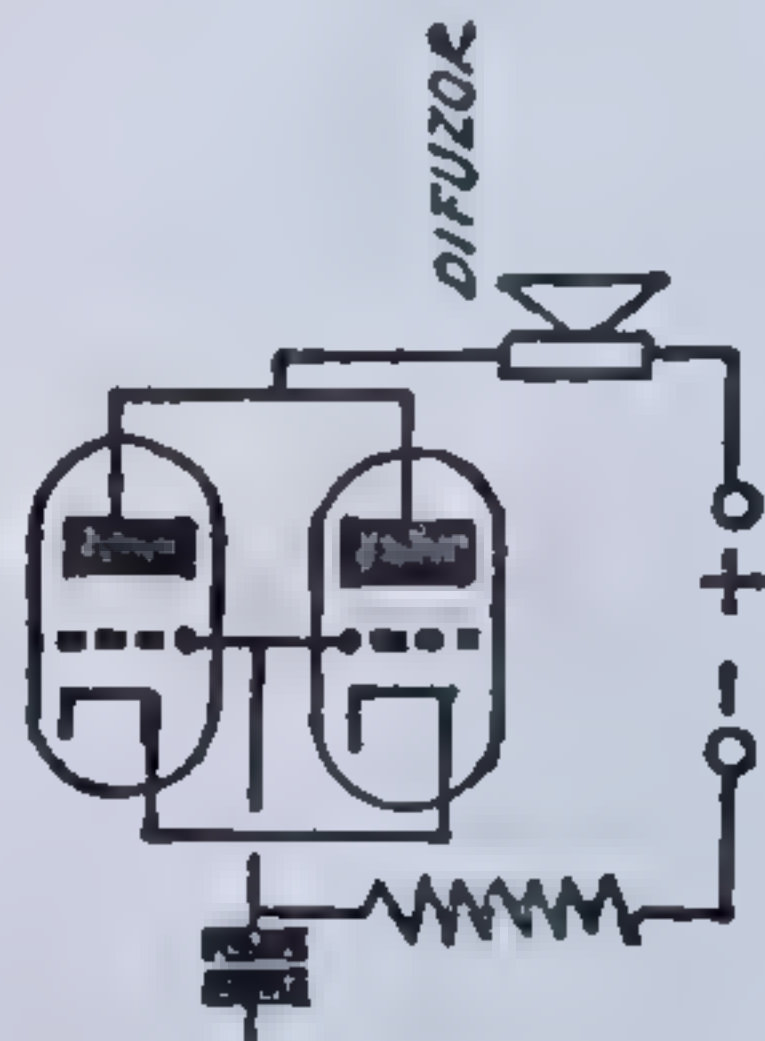
CURIOSUS : Cel mai adesea, două. Primul are rolul de a amplifica tensiunea de AF. Al doilea este etaj final și furnizează difuzorului puterea necesară.

IGNOTUS : Nu s-ar putea folosi în acest scop două triode legate în paralel ? Înțeleg prin aceasta că vom conecta în paralel atît catodii cit și grilele și anozii triodelor.

CURIOSUS : E posibil. În acest fel s-ar dubla puterea la ieșire. Acest rezultat se obține însă în condiții mult mai avantajoase, utilizînd *montajul în contratimp* cunoscut și sub numele de *push-pull*.

IGNOTUS : În ce constă acest montaj ? După cîte știu, „contratimp” nu reprezintă traducerea termenului englez push-pull, care înseamnă „împinge — trage”. Ce se trage și ce se împinge în contratimp ?

CURIOSUS : Este vorba despre cîmpuri magnetice. Privește schema pe care ți-am desenat-o. Tubul preamplificator L_1 este cuplat cu etajul final format din triodele L_2 și L_3 printr-un transformator de joasă frecvență cu priză mediană în secundar. Această priză este legată la polul negativ al sursei de înaltă tensiune. Fiecare din capetele secundarului este conectat la grila uneia din triodele finale. Poți deduce funcționarea schemei ?



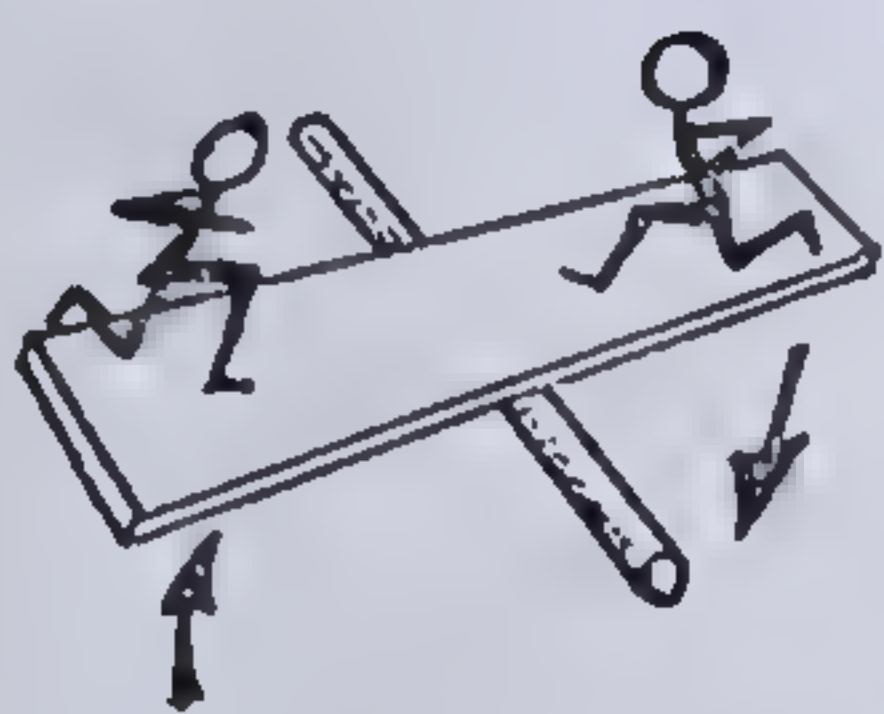
Amplificator AF în contratimp.

IGNOTUS : Cred că triodele se află într-o permanentă opoziție. Variațiile de potențial care se aplică de pe secundarul transformatorului TR_1 pe grilele lor au faze opuse.

Cînd curentul indus în bobinajul secundar trece de sus în jos, capătul superior al bobinajului va fi mai negativ decît cel

inferior. În timpul alternanței următoare se produce fenomenul invers. Bineînțeles, ca de obicei, vorbesc de sensul curentului de electroni și nu de sensul convențional al curentului electric.

CURIOSUS : Sînt întru totul de acord... Deci variațiile de potențial aplicate pe grilele celor două tuburi finale sînt în opoziție, ceea ce justifică atît denumirea românească „contratimp” cît și termenul englezesc „push-pull”.



IGNOTUS : Îmi amintesc de un număr pe care l-am văzut la circ. Doi echilibriști stăteau pe capetele unei scînduri care se sprijinea la mijloc pe o bară. Atunci cînd unul din ei sărea și recădea pe scîndură, aceasta se apleca brusc și îl azvîrlea în aer pe celălalt echilibrist. La rîndul ei, căderea celui de al doilea echilibrist îl arunca în sus pe cel dintîi. Și jocul continua cu o... frecvență joasă.

CURIOSUS : Tuburile noastre se comportă la fel. În timpul alternanței care determină creșterea curentului anodic într-un tub, curentul celui de al doilea tub scade ; procesul este invers în timpul alternanței următoare.

IGNOTUS : Foarte amuzant. Văd că cei doi curenți anodici ajung la capetele bobinajului primar al altui transformator. Avînd faze opuse, ei se vor anula și montajul nu va servi la nimic.

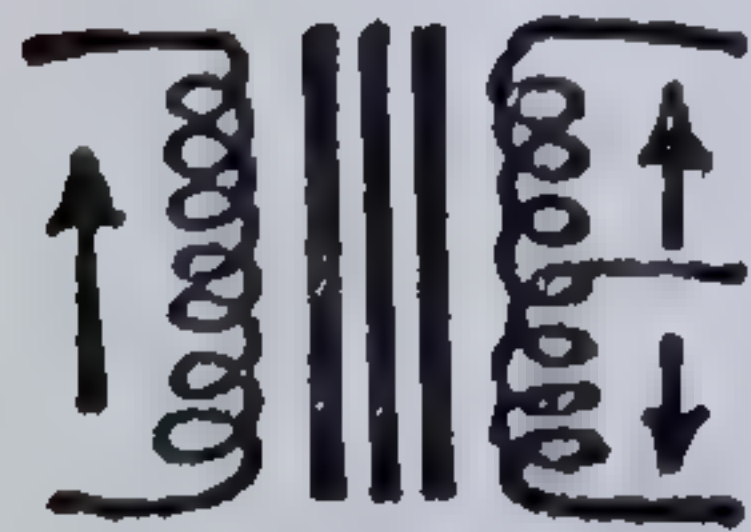
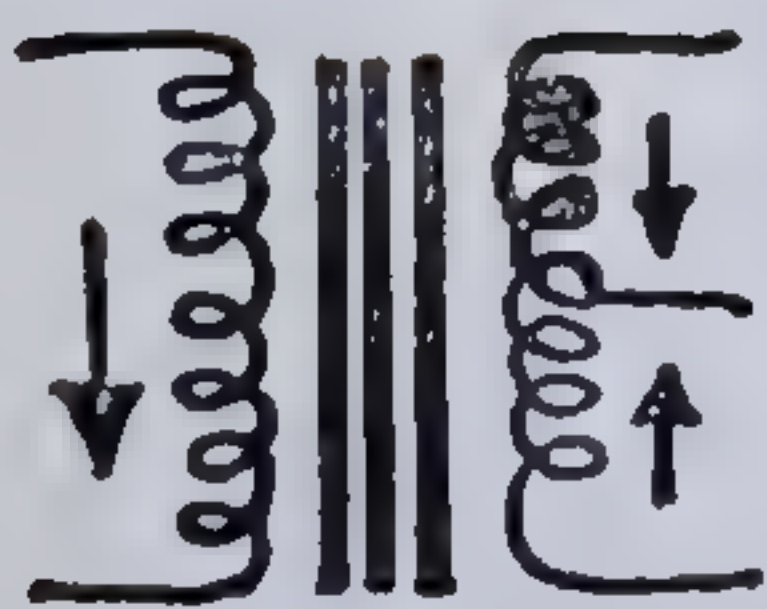
CURIOSUS : Te înșeli, Ignotus. Privește cu atenție schema. Vei observa că cei doi curenți vin în bobinaj din sensuri opuse. Și cum variațiile lor sînt ele însele opuse, curenții induși de ele în secundar vor avea același sens și se vor aduna.

IGNOTUS : O clipă, Curiosus. Dă-mi voie să analizez mai atent fenomenul. Să zicem că o alternanță face ca grila lui L_2 să devină mai pozitivă, ceea ce atrage creșterea curentului său anodic. În același timp grila lui L_3 devine mai negativă și curentul anodic scade în L_3 .

Curentul provenit de la anodul lui L_2 trece de sus în jos în jumătatea superioară a primarului transformatorului de ieșire TR₂. Curentul lui L_3 trece de jos în sus prin jumătatea inferioară a bobinajului.

Să presupunem că primul dintre acești curenți va induce în secundar un curent care trece, la rîndul lui, de sus în jos. Ei bine, ai dreptate, prietene ! Curentul lui L_3 care scade, dar al cărui sens este opus celui din L_2 , va induce în secundar un curent care va circula și el de jos în sus. Prin urmare, cei doi curenți se vor aduna.

CURIOSUS : Îmi pare bine că ai înțeles. Montajul în contratimp prezintă un mare avantaj : deoarece componentele continue ale curenților anodici ai tuburilor L_2 și L_3 au sensuri opuse în primarul transformatorului, miezul nu se magneti-



zează în curent continuu, permeabilitatea crește și se îmbunătățește inducția curentului în secundar.

Pe de altă parte, datorită perfecte simetrii a acestei scheme, deformările pe care le poate produce un defect de linearitate al caracteristicilor tuburilor finale (aceste deformări sînt numite *distorsiuni*) se anulează reciproc, prin opoziția curenților anodici.

TUBUL DEFAZOR

IGNOTUS : M-ai convins. Voi fi un susținător înfocat al schemei în contratimp. Cred însă, că acest circuit este foarte scump, pentru că două transformatoare de joasă frecvență cu prize mediane trebuie să coste mult.

CURIOSUS : La primul transformator putem renunța, dacă vrei. El are rolul de a pune în opoziție de fază tensiunile variabile aplicate pe tuburile finale. Acest rezultat se poate obține și pe alte căi, de exemplu cu ajutorul unui *tub defazor*.

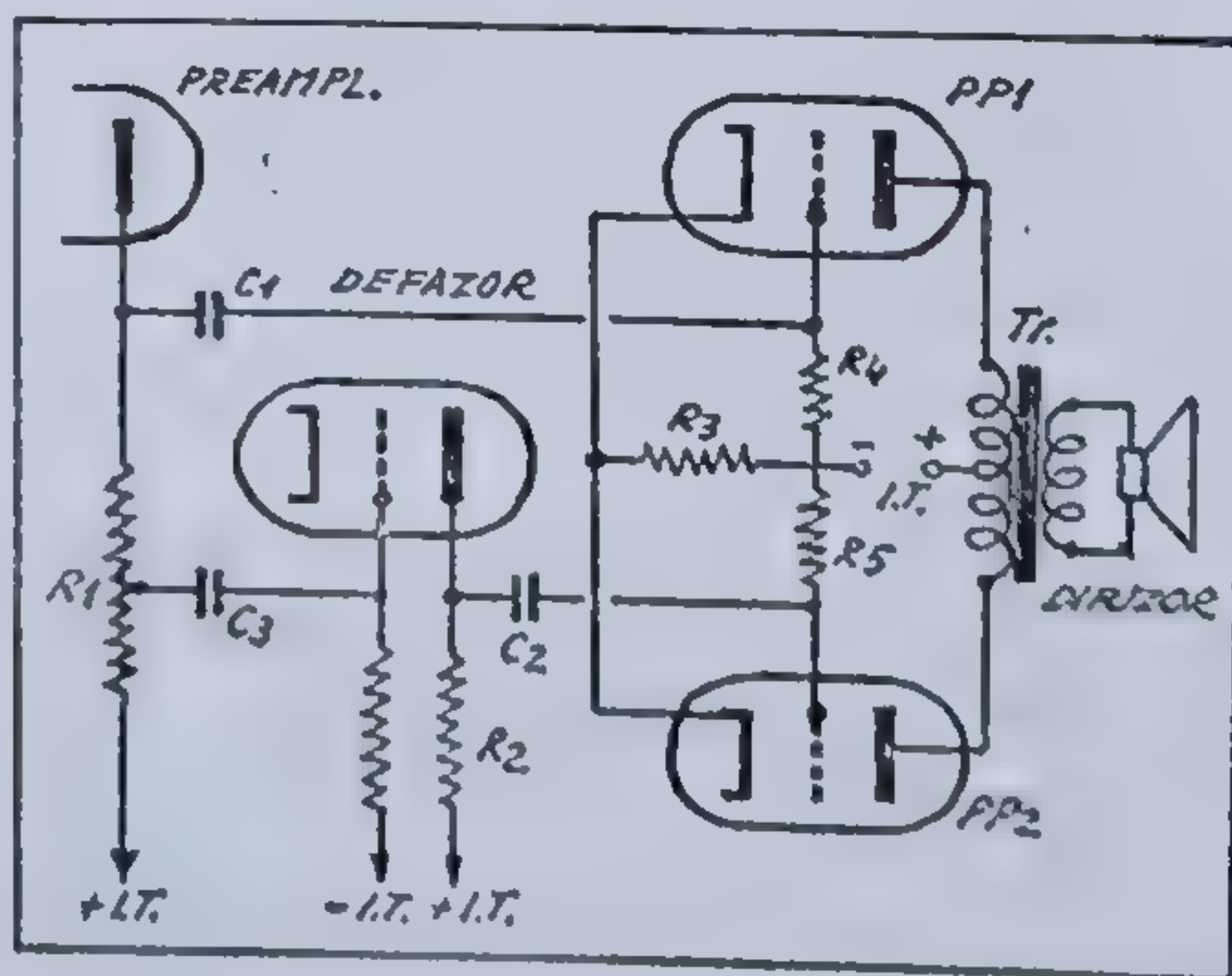
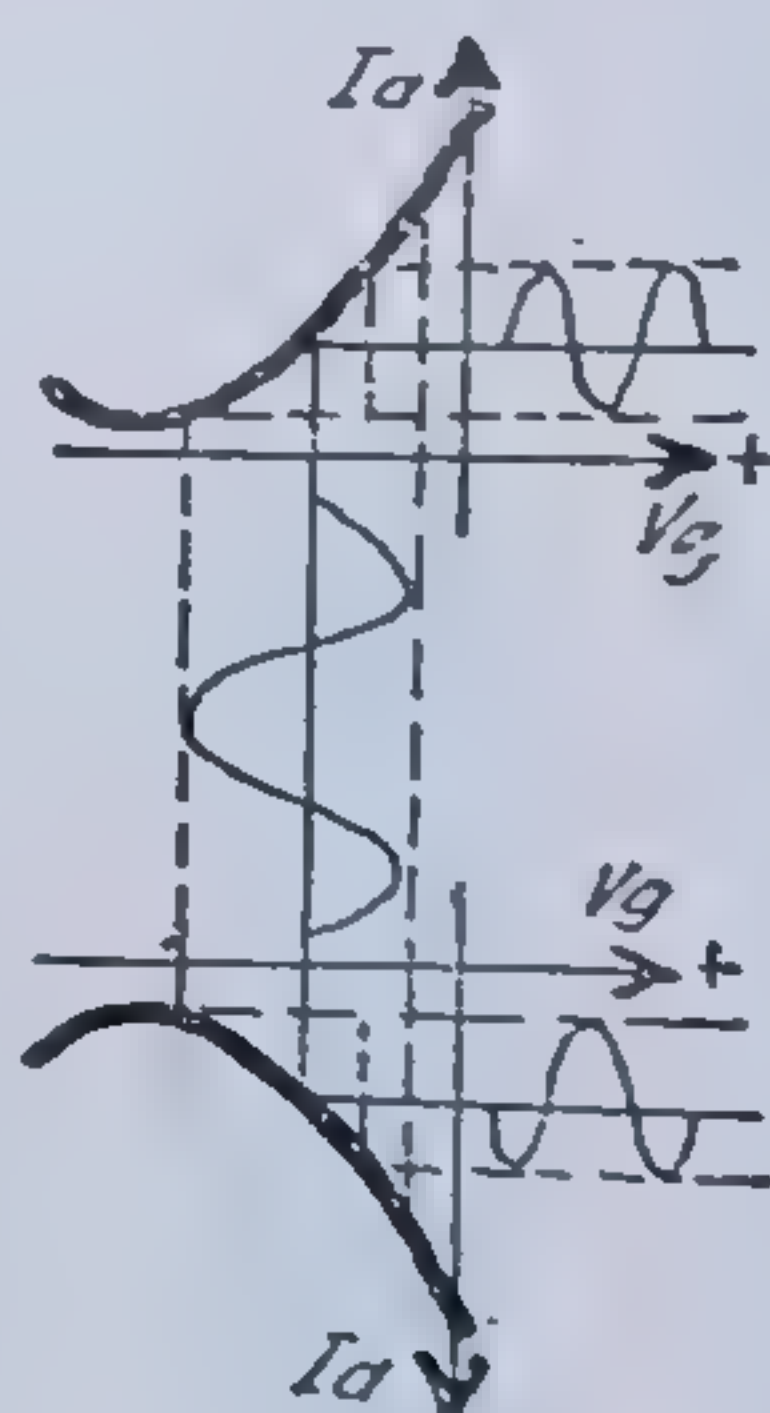
După cum știi, tensiunea variabilă care apare pe impedanța anodică este în opoziție de fază cu tensiunea de pe grilă. Când grila devine mai pozitivă, curentul anodic crește și produce o cădere mare de tensiune pe impedanța din circuitul anodic. În această situație capătul dinspre anod al impedanței, devine mai negativ.

Ei bine, vom folosi o triodă defazoare pentru a aplica pe cele două triode finale tensiuni de AF opuse ca fază.

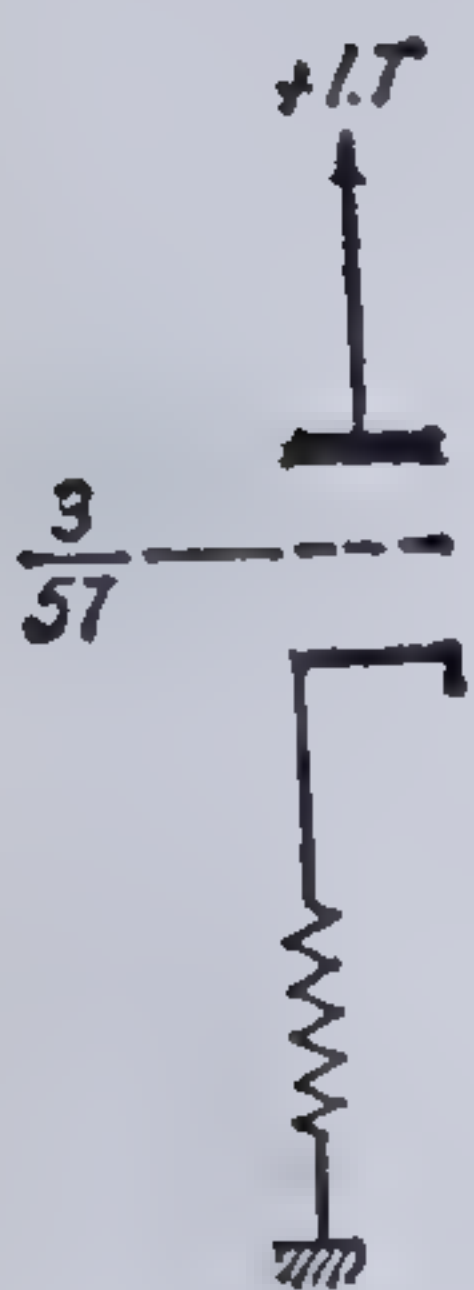
În schema pe care am desenat-o, tensiunea variabilă care apare pe rezistența R_1 parcursă de curentul anodic al tubului



Permeabilitate magnetică



În această schemă în contratimp, transformatorul de intrare este înlocuit cu un tub defazor.



preamplificator, este aplicată, prin condensatorul C_1 , pe grila unuia din tuburile în contratimp.

O parte din această tensiune, obținută pe o priză a rezistenței R_1 , este aplicată, prin condensatorul de cuplaj C_3 , pe grila tubului defazor. Tensiunea defazată apare pe rezistența R_2 din circuitul anodic și este aplicată, prin condensatorul C_2 pe al doilea tub al montajului în contratimp.

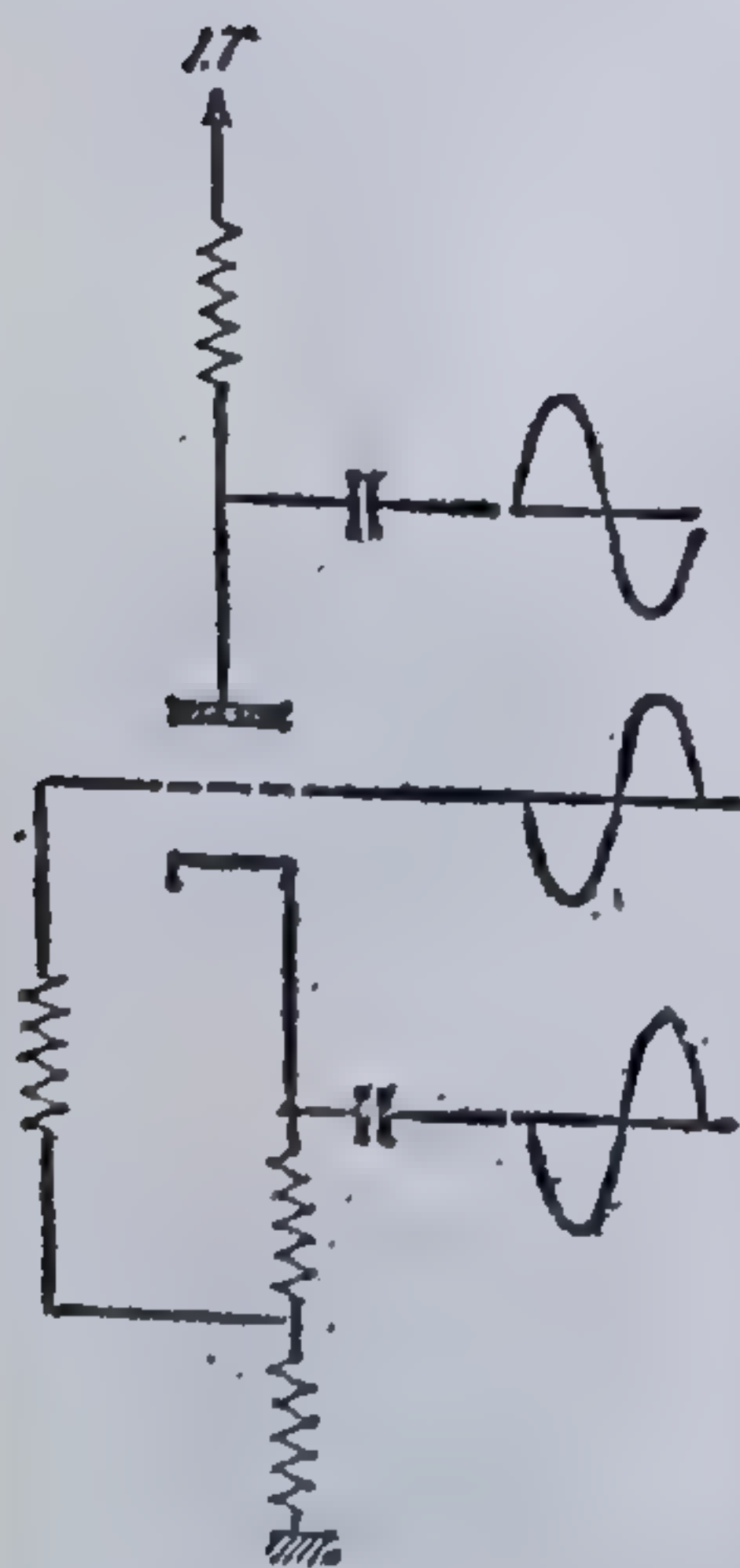
IGNOTUS : De ce trebuie să aplicăm pe grila tubului defazor doar o parte din tensiunea de pe rezistența R_1 ?

CURIOSUS : Pentru că, la fel cu celelalte triode, acest tub amplifică tensiunea ce i se aplică la intrare. Și cum tensiunile care ajung pe grilele celor două tuburi finale trebuie să fie egale între ele, dar în opoziție de fază, este necesar să reducem tensiunea aplicată pe grila tubului defazor.

Dacă, de exemplu, tubul nostru amplifică tensiunea de 5 ori, va trebui să luăm de pe R_1 numai o cincime din tensiunea totală. Situația optimă ar fi să existe pe rezistență un contact mobil, care să permită extragerea tensiunii de pe o porțiune oarecare a rezistenței.

O astfel de rezistență prevăzută cu o priză reglabilă se numește *potențiometru*. Ea este alcătuită, în general, dintr-un fir cu rezistivitate mare, înfășurat în jurul unei plăcuțe izolante, îndoită astfel încât să formeze un cilindru. Un contact mobil comandat de un buton se rotește în jurul unui ax aflat în centrul cilindrului, și, atingând diverse puncte ale rezistenței, constituie priza variabilă.

MONTAJUL CATODINĂ



IGNOTUS : Nu-i rea ideea asta cu tubul defazor !

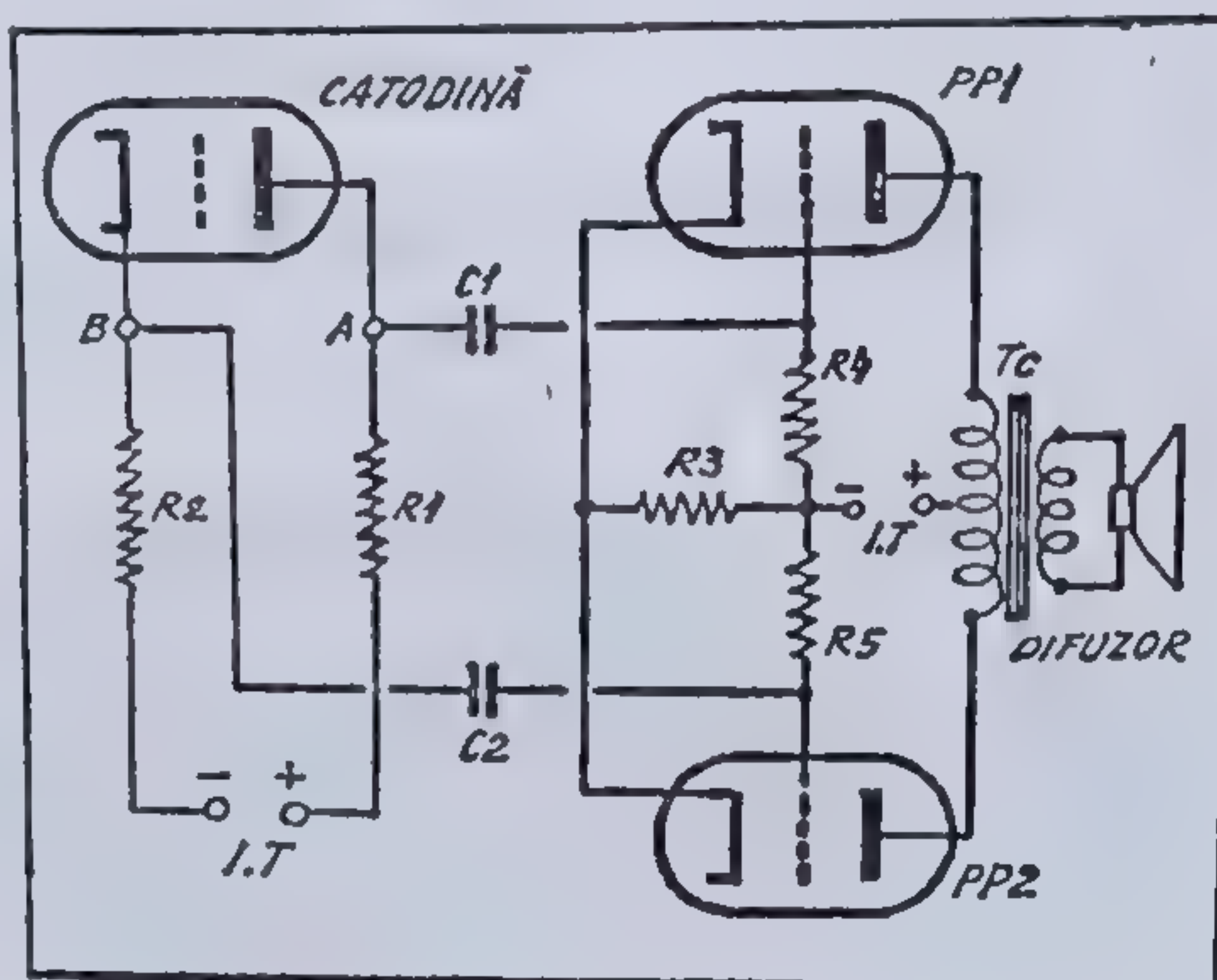
CURIOSUS : Defazajul mai poate fi obținut și cu ajutorul unui tub montat în catodină. Acest termen, ca și schema respectivă au fost utilizate pentru prima oară de un ziarist francez specializat în tehnică, în anul 1930, la puțin timp după apariția tuburilor cu încălzire indirectă, singurele care permit realizarea circuitului.

Ideea este foarte simplă. În afară de rezistența care se leagă între anod și polul pozitiv al sursei de înaltă tensiune, se mai introduce o rezistență între catod și polul negativ al sursei. Vei observa cu ușurință că atunci când grila devine mai pozitivă și deci curentul anodic crește, tensiunea pe extremitatea dinspre anod a rezistenței devine mai negativă, în timp ce la capătul

dinspre catod al celeilalte rezistențe, tensiunea tinde să fie mai puțin negativă.

Tensiunile de pe anodul și de pe catodul tubului catodină sînt deci în opoziție de fază și pot fi aplicate, prin cîte un condensator de cuplaj, pe grilele celor două tuburi în contratimp.

Montaj în contratimp pentru care se asigură defazajul tensiunilor de intrare printr-o catodină. Tensiunile aplicate pe tuburile PP_1 și PP_2 sînt extrase din anodul și din catodul catodinei.



IGNOTUS : Semnalul se și amplifică în catodină ?

CURIOSUS : Nu, pentru că variațiile de tensiune pe anod sînt în fază cu cele de pe grilă și tensiunea de intrare pe grilă este mică. Nu putem cere totuși unei triode chiar atîtea de servicii diferite.

IGNOTUS : Mi se pare suficient că trioda poate să detecteze și să amplifice, atît în înalta frecvență, cît și în joasă frecvență.

CURIOSUS : Posibilitățile ei nu se limitează la atît. Ea mai este întrebuințată și pentru generarea oscilațiilor. Acum e prea tîrziu ca să-ți mai explic în ce constă și cum funcționează un oscilator. Cred însă, că unchiului meu îi va face plăcere să-ți dea lămuriri în această privință.



Profesorul Radiol analizează

Reacția, emisia și tuburile cu mai mult de trei electrozi

După ce explică fenomenul de reacție, Radiol descrie diversele lui aplicații, printre care detecția cu reacție și producerea oscilațiilor. El explică apoi cum se realizează în stațiile de emisie, modularea în amplitudine a oscilațiilor. În sfârșit, după ce examinează pericolele reacției parazite, el vorbește despre întrebuințarea ecranelor și despre funcționarea tuburilor tetrode și pentode.

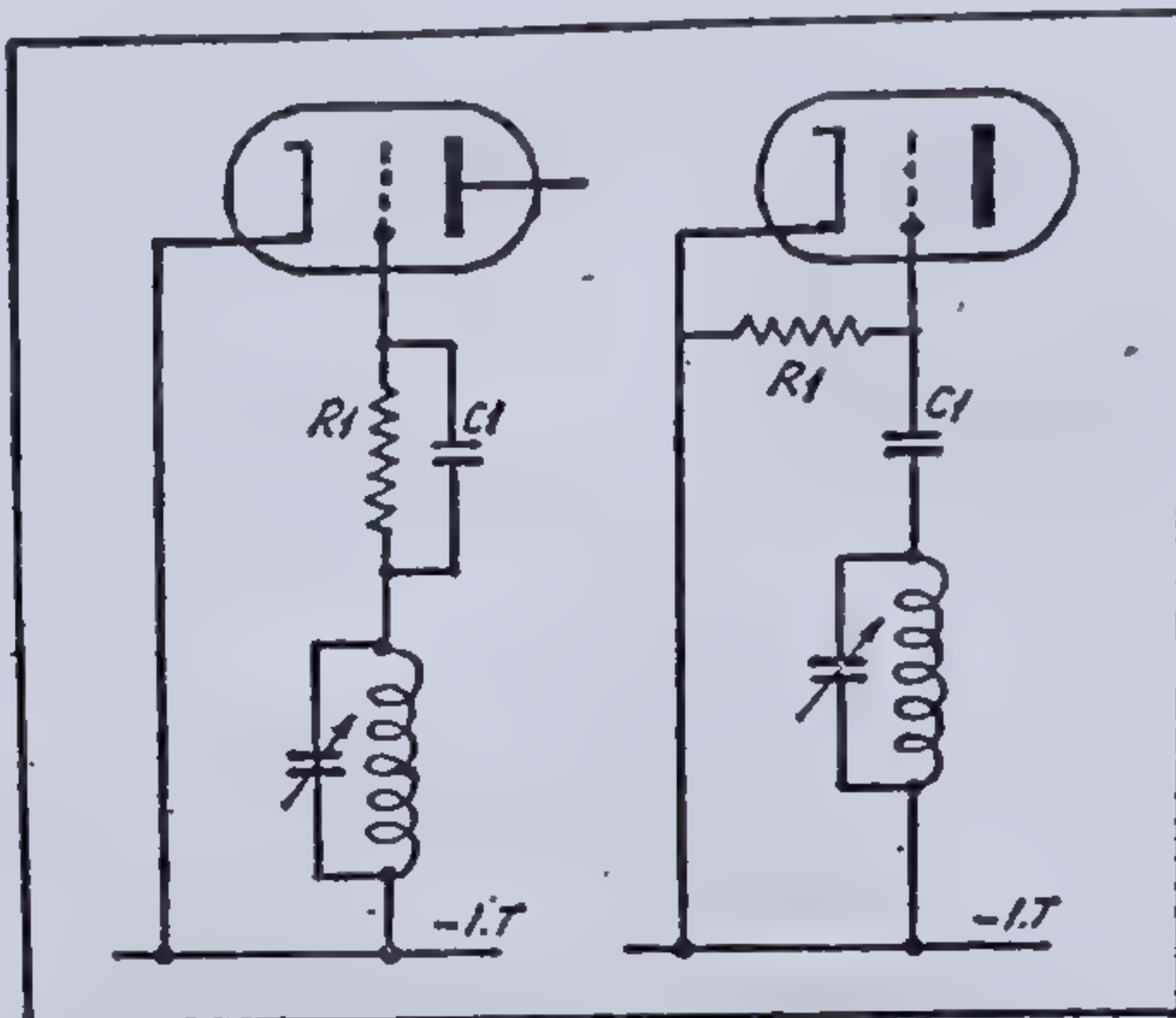
Aveți dreptate, dragii mei, posibilitățile tuburilor electronice sînt într-adevăr impresionante. La rîndul meu, vă voi spune cu plăcere cum se generează oscilațiile. Mai întîi însă aș vrea să vă arăt în ce fel poate realiza o triodă procesul pe care-l numim „detecție de grilă“.

DETECȚIE + AMPLIFICARE

În acest montaj, foarte utilizat altă dată, grila are un dublu rol : cel de anod al unei diode detectoare și cel de grilă a unui tub amplificator.

Neavînd o polarizare fixă, grila captează, în perioadele cînd tensiunea variabilă de pe circuitul acordat o pozitivează, o parte din electronii emiși de catod. Ia naștere un curent cu sensul catod-grilă care produce o cădere de tensiune pe rezistența R_1 . Acumulat datorită condensatorului C_1 , curentul produce o tensiune de AF.

Detecția de grilă a triodei se datorează rezistenței R_1 care poate fi conectată între grilă și catod, fie printr-un circuit acordat (stînga) fie direct (dreapta).

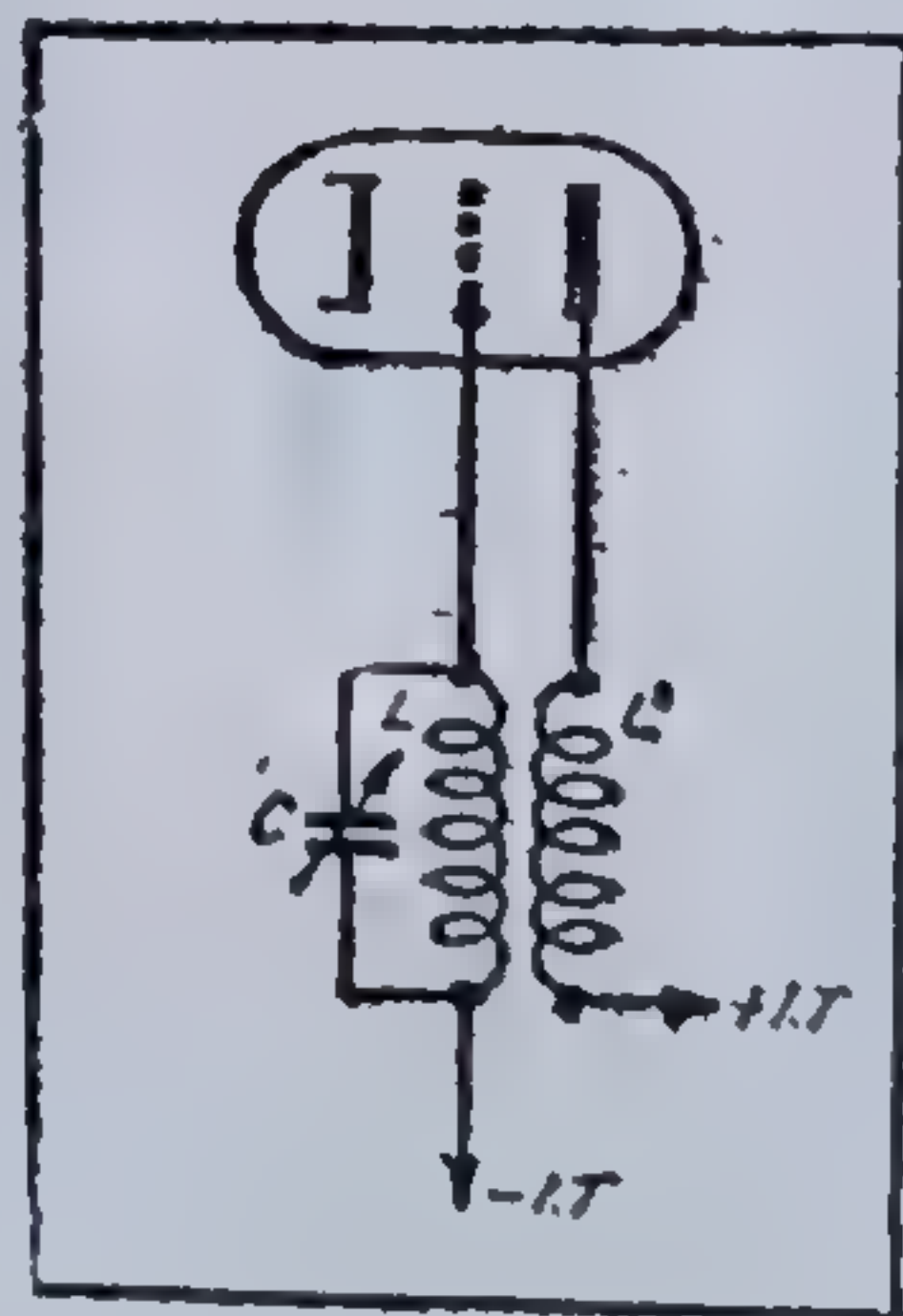


Această tensiune, rezultată din detecție, determină variații corespunzătoare ale curentului anodic al tubului, asigurînd astfel amplificarea semnalului de AF.

Te rog să reții că rezistența R_1 care este de ordinul megohmilor poate fi conectată direct între grilă și catod.

AVANTAJELE REACȚIEI

Pînă acum am mers numai înainte. Am pătruns în radioreceptor prin antenă, am ajuns la circuitul de intrare, apoi, trecînd prin amplificatorul de înaltă frecvență, am sosit la detecție și de aci am intrat în amplificatorul de AF, al cărui etaj final trimite semnalul în difuzor.



Curentul anodic care trece prin bobinajul L' induce un curent de reacție în bobinajul L al circuitului acordat din grilă

Să vedem acum, ce s-ar întâmpla dacă un curent amplificat de înaltă frecvență s-ar întoarce, după amplificare, la intrarea în tub. Să introducem în acest scop în circuitul anodic o bobină L' cuplată inductiv cu bobina L a circuitului acordat din grilă. Ce se va întâmpla ?

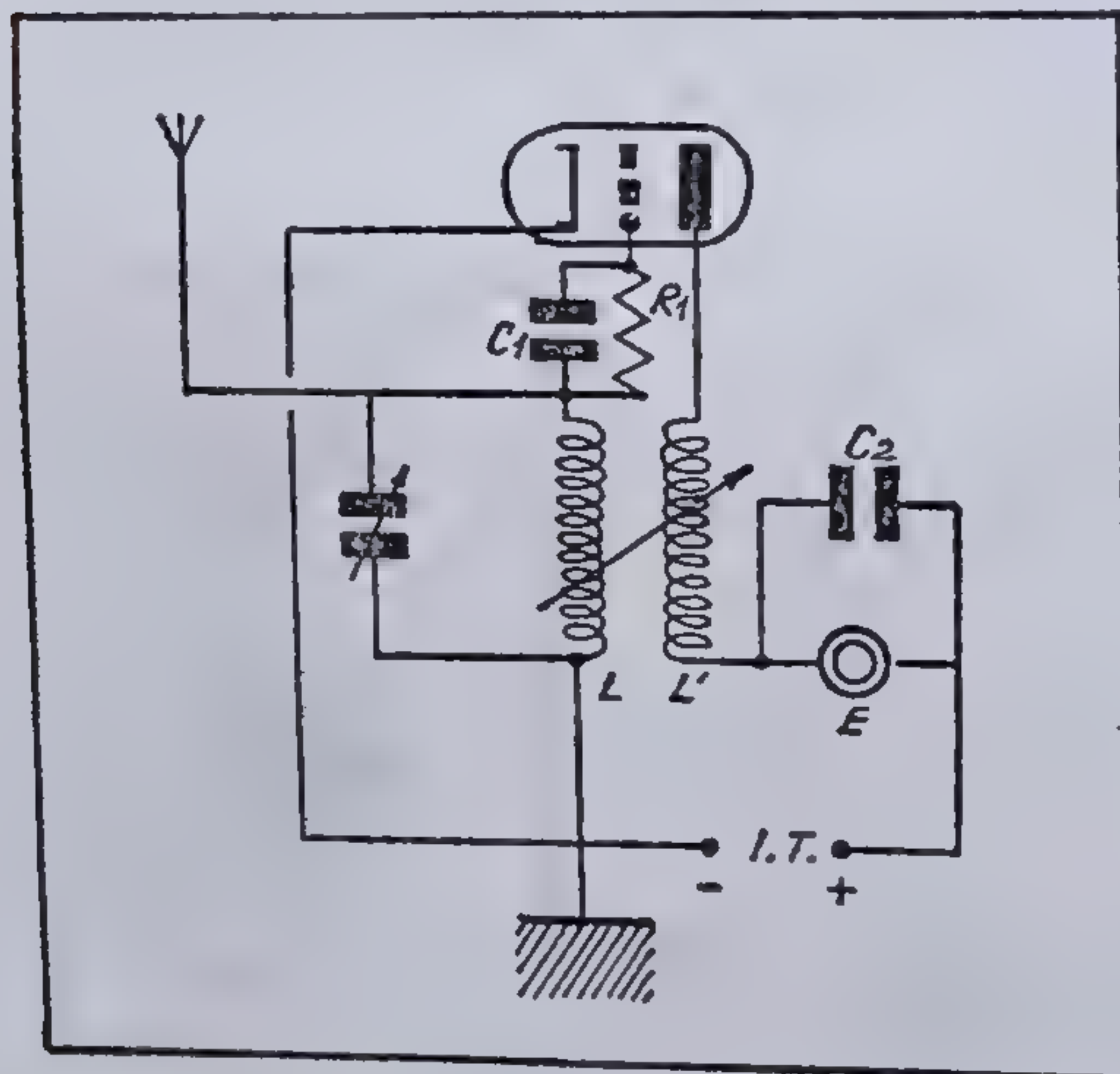
Variațiile de curent din bobina L' au aceeași formă cu cele din L , dar sînt amplificate. Ele vor induce în L un curent variabil. Acest curent va fi în fază sau în opoziție de fază cu cel din circuitul de grilă ?

Totul depinde de sensul bobinajelor. Ele pot fi deci dispuse astfel încît curentul indus de L' în L să fie în fază cu curentul inițial. În consecință tensiunea variabilă de pe grilă se va mări, ceea ce va antrena creșterea curentului anodic ; L' va induce în L un curent și mai mare ș.a.m.d.

Această retroacțiune a anodului asupra grilei se numește *reacție*. Îți dai seama desigur că amploarea reacției depinde într-o măsură foarte mare de cuplajul dintre bobine. Reacția este cu atît mai puternică, cu cît cuplajul este mai strîns. Amplificarea triodei noastre poate fi mărită în acest fel foarte mult.

RECEPTORUL CU REACȚIE

Fenomenul pe care ți l-am descris era folosit cîndva într-un tip de radioreceptor, foarte răspîndit la timpul său, care purta numele de „receptor cu reacție”. Detecția de grilă era asigurată



Radioreceptor cu reacție.

de circuitul R_1C_1 . În circuitul anodic era montată în serie cu difuzorul o bobină L' cuplată reglabil cu bobina L a circuitului acordat din grilă. În acest scop bobina de reacție era fixată pe un suport mobil care îi permitea să se apropie mai mult sau mai puțin de bobina fixă L .

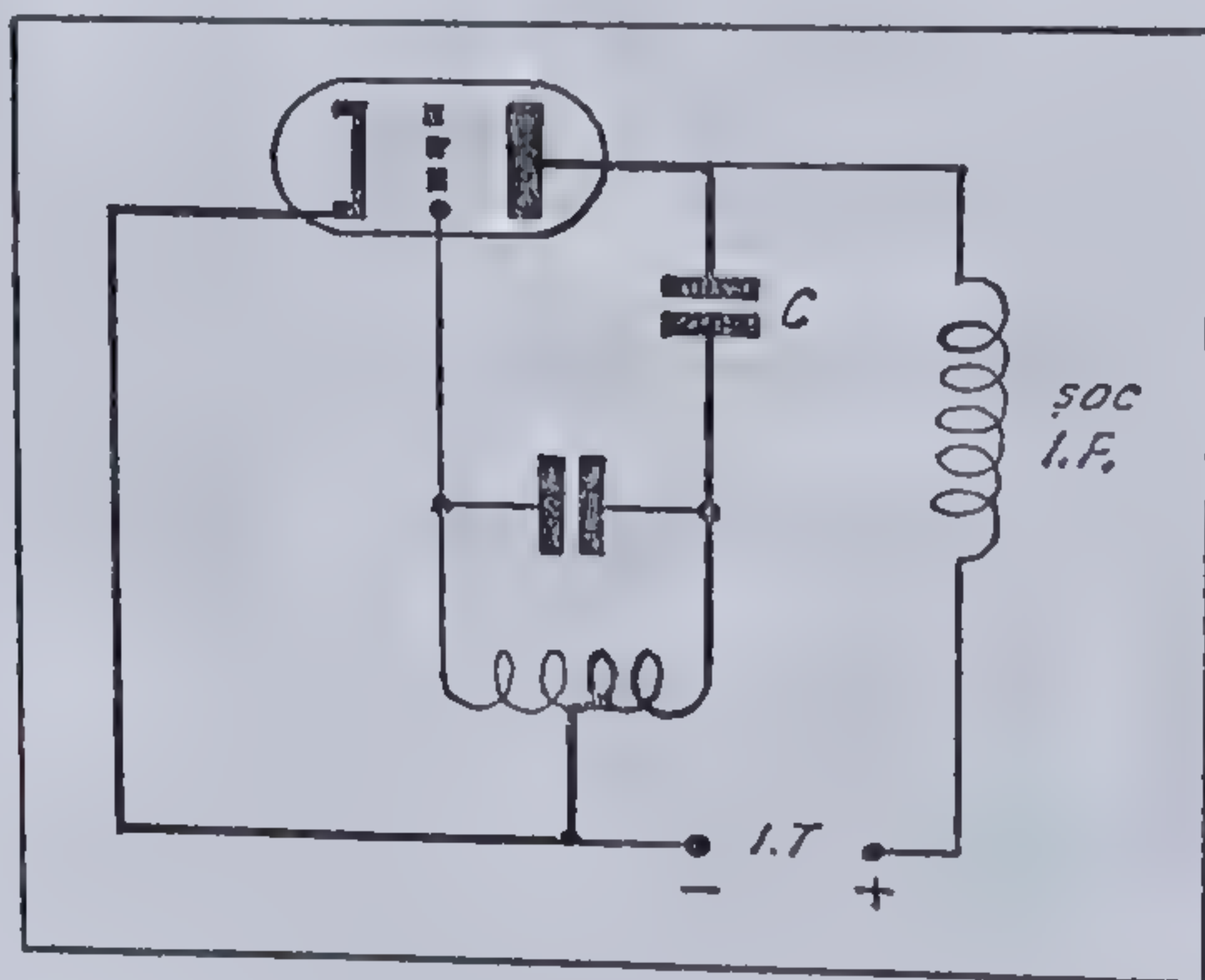
Reacția putea fi mărită pînă cînd se obținea amplificarea maximă și implicit o sensibilitate foarte bună. Radioamatorii reușeau astfel să capteze emisiuni foarte îndepărtate.

OSCILATOARELE

Spunînd că reacția se mărea pînă cînd se ajungea la amplificarea maximă, ar fi trebuit să precizez că nu trebuie în trecută o anumită limită, care odată depășită, duce la generarea de oscilații. Și iată-ne ajunși la acest fenomen fundamental care este producerea oscilațiilor cu ajutorul tuburilor electronice.

Oscilațiile se obțin prin trimiterea în circuitul de grilă a unei părți din energia care apare în circuitul anodic. Tubul amplifică variațiile de tensiune din grilă, iar curentul amplificat determină mărirea acestor variații.

În oscilatorul Hartley, componenta variabilă a curentului anodic străbate circuitul trasat cu linie îngroșată.



În afară de soluția cuplajului între o bobină din circuitul anodic și bobina din grilă, pentru a obține reacția se mai poate recurge la o schemă ingenioasă numită montajul Hartley, în care curentul anodic este bifurcat: componenta variabilă este trimisă, prin condensatorul C , spre circuitul acordat, iar componenta continuă ajunge prin bobina de șoc la polul pozitiv al

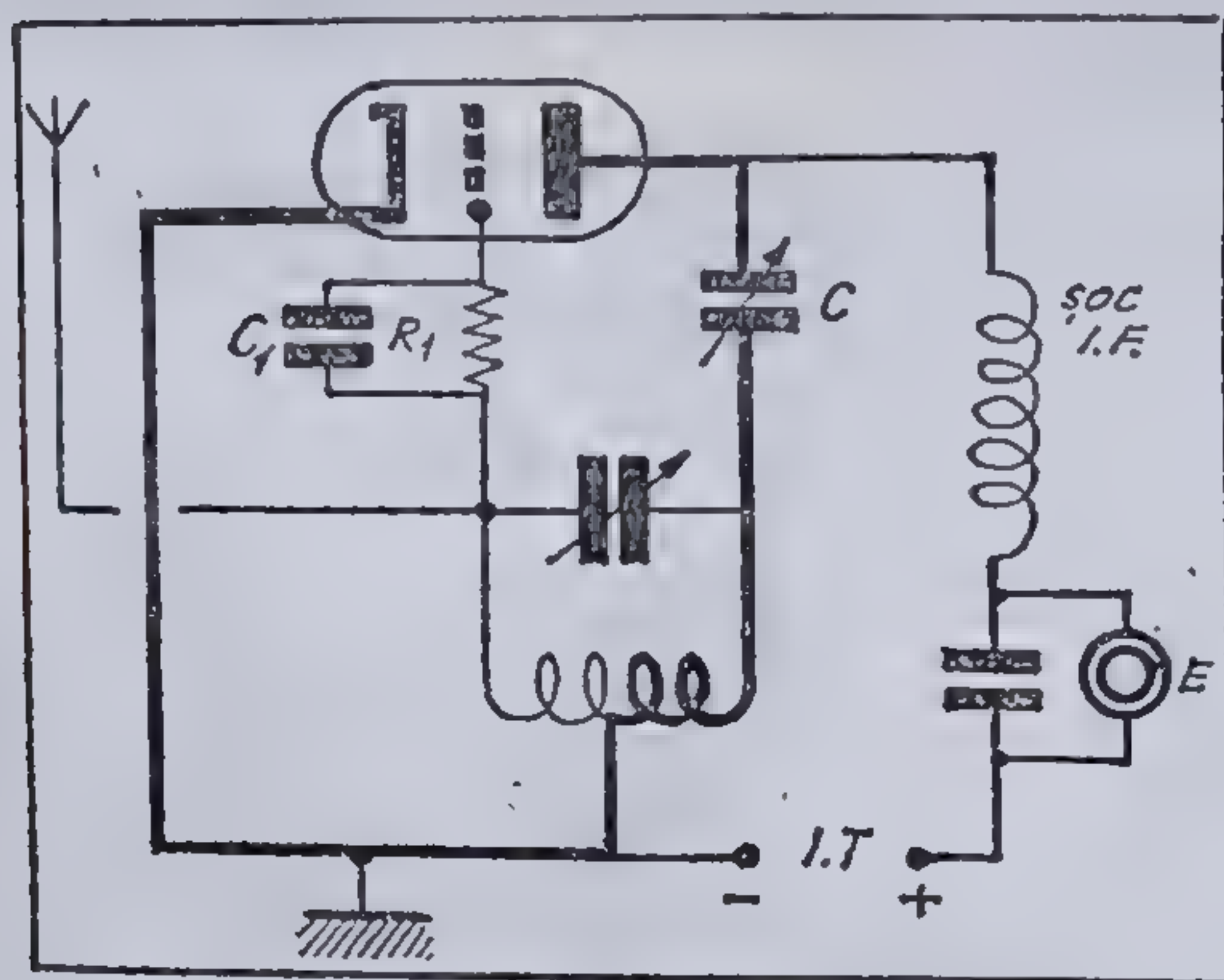
sursei de înaltă tensiune. Inducția bobinei de șoc împiedică trecerea curentului de IF.

Componenta variabilă a curentului anodic străbate o parte din bobina circuitului acordat, pînă cînd ajunge la priza de pe bobină prin care se întoarce la catodul tubului. Tensiunea care apare în bobină este suficientă pentru a da naștere oscilațiilor.

Pentru ca schema să fie mai clară, am desenat îngroșat traseul curentului de reacție.

FENOMENUL DE INTERFERENȚĂ

În receptoarele cu reacție se folosea adesea montajul Hartley. În circuitul de grilă se introduce în acest scop rezistența R_1 în derivație cu condensatorul C_1 . Condensatorul variabil C , prin care trece curentul de reacție spre circuitul acordat, permite să se efectueze cu precizie reglajul reacției pentru a nu se depăși pragul de apariție a oscilațiilor proprii, care se traduc prin fluierături în difuzor. Fluierăturile se datorează fenomenului numit interferență despre care vom vorbi acum.

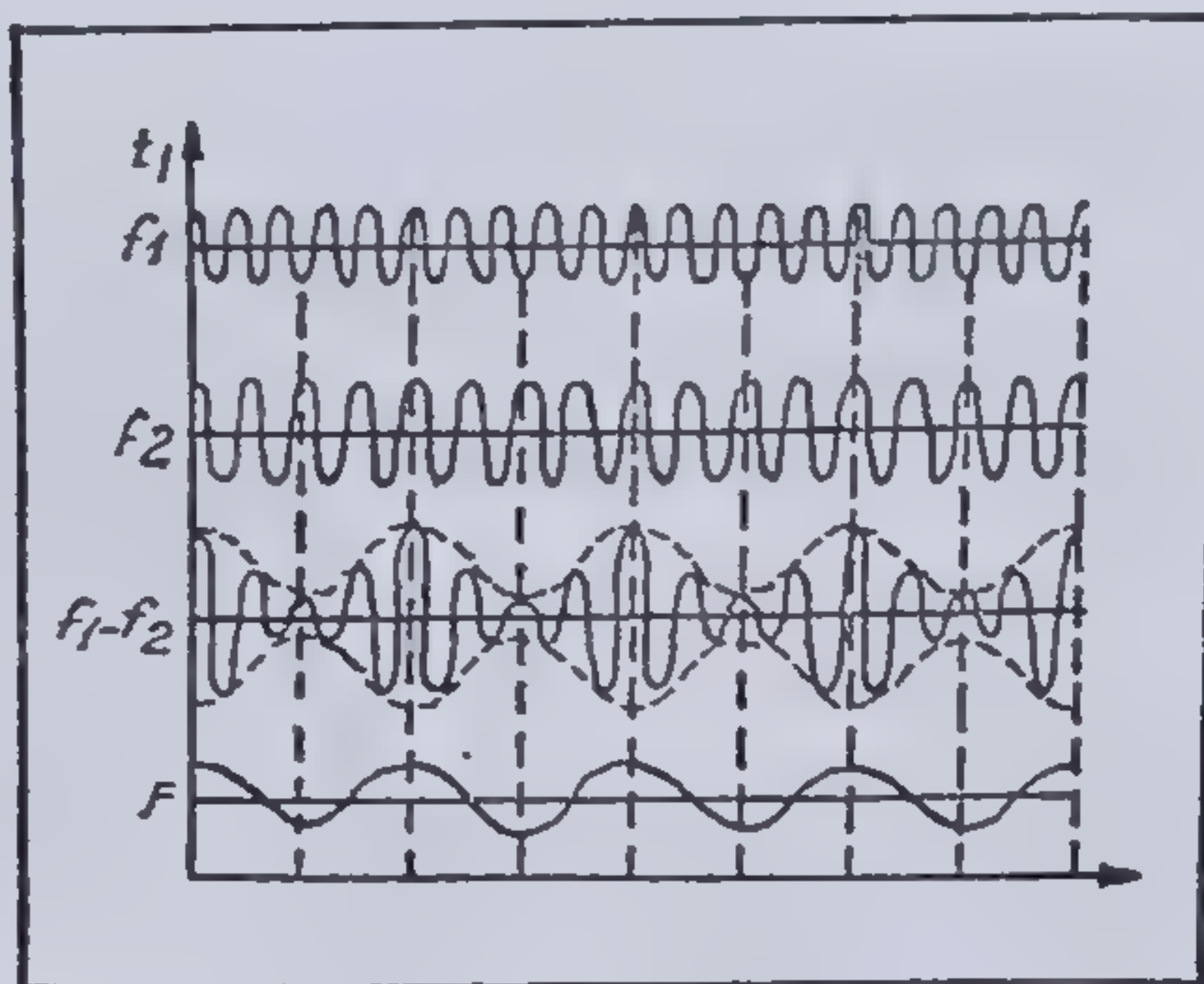


Receptor cu reacție realizat cu ajutorul schemei Hartley.

Să presupunem că oscilațiile generate cu ajutorul reacției au o frecvență f_2 puțin diferită de frecvența f_1 indusă în antenă de undele recepționate. Ce va rezulta din suprapunerea celor două frecvențe: cea a undelor radio și cea generată prin reacție?

Ți-am desenat curbele care corespund celor două frecvențe f_1 și f_2 . După cum vezi, la început alternanțele celor două curbe coincid și amplitudinea curentului rezultat este egală cu suma celor două amplitudini. Datorită diferenței dintre frecvențe,

Cele două oscilații f_1 și f_2 vor da naștere unei oscilații rezultante $f_1 - f_2$ care este transformată, după detecție, într-o oscilație F , a cărei frecvență este egală cu diferența dintre frecvențele componentelor ei.



oscilațiile se decalează treptat și, la un moment dat, alternanțele lor se află în opoziție, și deci se scad una din cealaltă. Apoi, diferența se reduce ș.a.m.d.

Vei observa, prin urmare, că amplitudinea curentului rezultat variază periodic și dacă vei calcula numărul de perioade al celor două componente și numărul de perioade al curentului rezultat, vei ajunge la următoarea concluzie fundamentală: din suprapunerea celor două oscilații ale căror frecvențe sînt f_1 și f_2 ia naștere un curent cu frecvența $f_1 - f_2$.

Pe desenul meu, în timpul a 20 de perioade de frecvență f_1 , curentul cu frecvența f_2 are numai 16 perioade, iar curentul rezultat a cărui frecvență este $f_1 - f_2$ are numai 4 perioade.

Trecînd curentul rezultat printr-o diodă sau prin alt dispozitiv de redresare, îl vom detecta și vom obține un curent de joasă frecvență $F = f_1 - f_2$.

După cum vezi, *suprapunerea a doi curenți alternativi dă naștere unui curent a cărui frecvență este egală cu diferența dintre frecvențele celor doi curenți.*

Dacă este vorba de curenți de IF și dacă frecvențele lor nu diferă mult, prin suprapunere rezultă un curent de joasă frecvență. În acest caz fenomenul este cunoscut sub numele de *interferență* sau de *bătăi*.

Este posibil ca frecvențele curenților care se suprapun să fie foarte diferite. În acest fel se produce o emisie a semnalului rezultat.

MODULAȚIA ȘI EMISIA

Oscilațiile de IF sînt generate cu ajutorul reacției, folosind unul din procedeele pe care ți le-am expus, și sînt amplificate prin metodele pe care le cunoști.

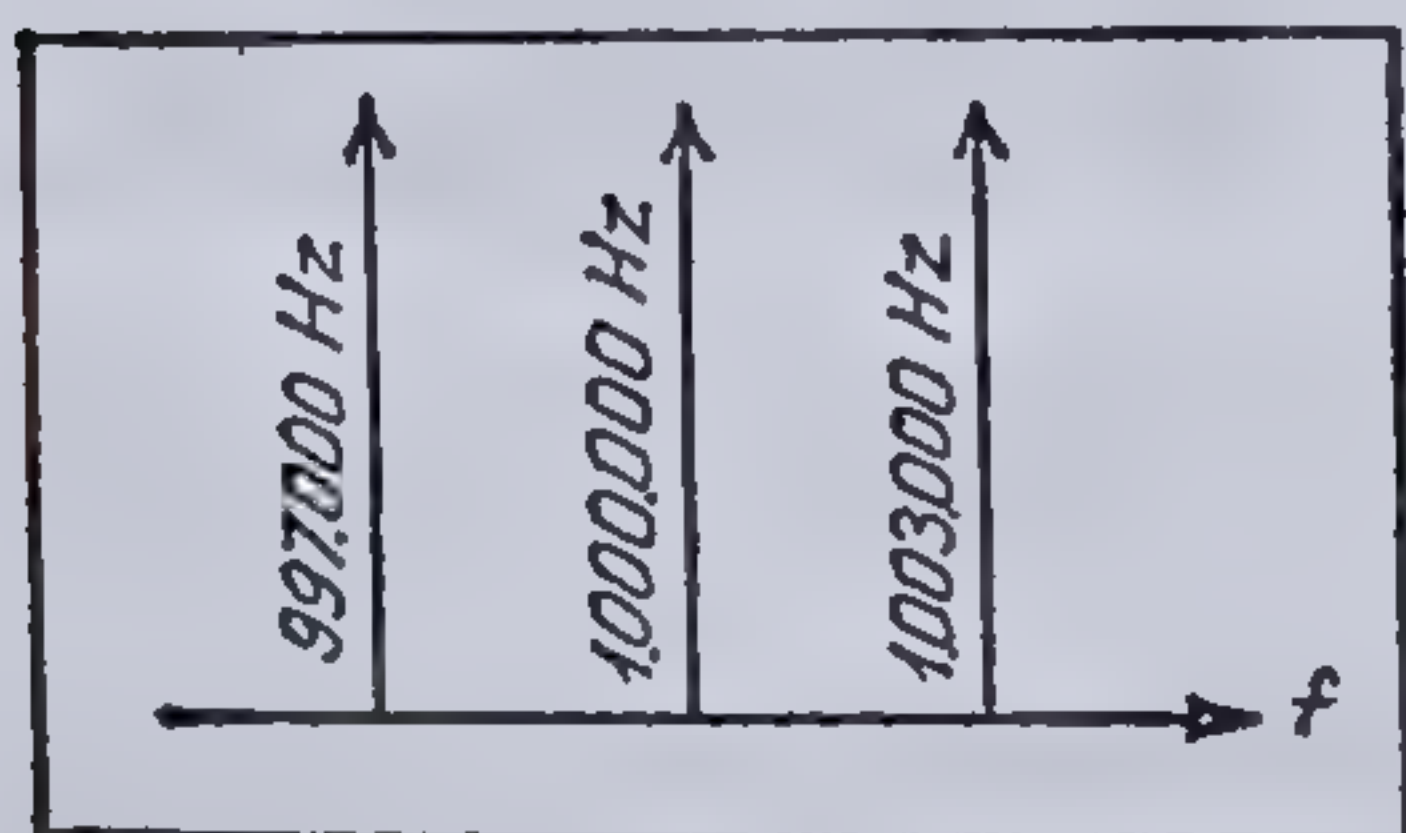
Curentul de audiofrecvență rezultat prin amplificarea curentului de microfon modulează apoi oscilațiile de IF. În ce constă procesul de modulare?

Modularea se poate face aplicând simultan pe grila unui tub tensiunea de IF și tensiunea de AF produsă de curentul de microfon. Grila trebuie să fie astfel polarizată încît punctul de funcționare să se afle la începutul curbei sale caracteristice. În consecință, în timpul alternanțelor negative ale AF, curentul anodic va fi nul. În timpul alternanțelor pozitive ale AF, tensiunea de IF de pe grilă va produce un curent anodic a cărui amplitudini de semnalul de AF. Nu vreau să te obosesc cu calculii de AF.

Se va obține, prin urmare, un curent de IF, modulat în amplitudine de semnalul de AF. Nu vreau să te obosesc cu calculele trigonometrice pe care le presupun curbele sinusoidale de IF și de AF. Trebuie să reții doar că atunci cînd curentul de IF de frecvență f este modulat în amplitudine de un curent de audiofrecvență F , rezultă curenți care au următoarele două frecvențe :

$$f - F \text{ și } f + F$$

De exemplu, dacă un curent de IF de 1 000 000 Hz este modulat de un curent de AF de 3 000 Hz, se obține un curent modulat de 997 000 Hz și unul de 1 003 000 Hz.

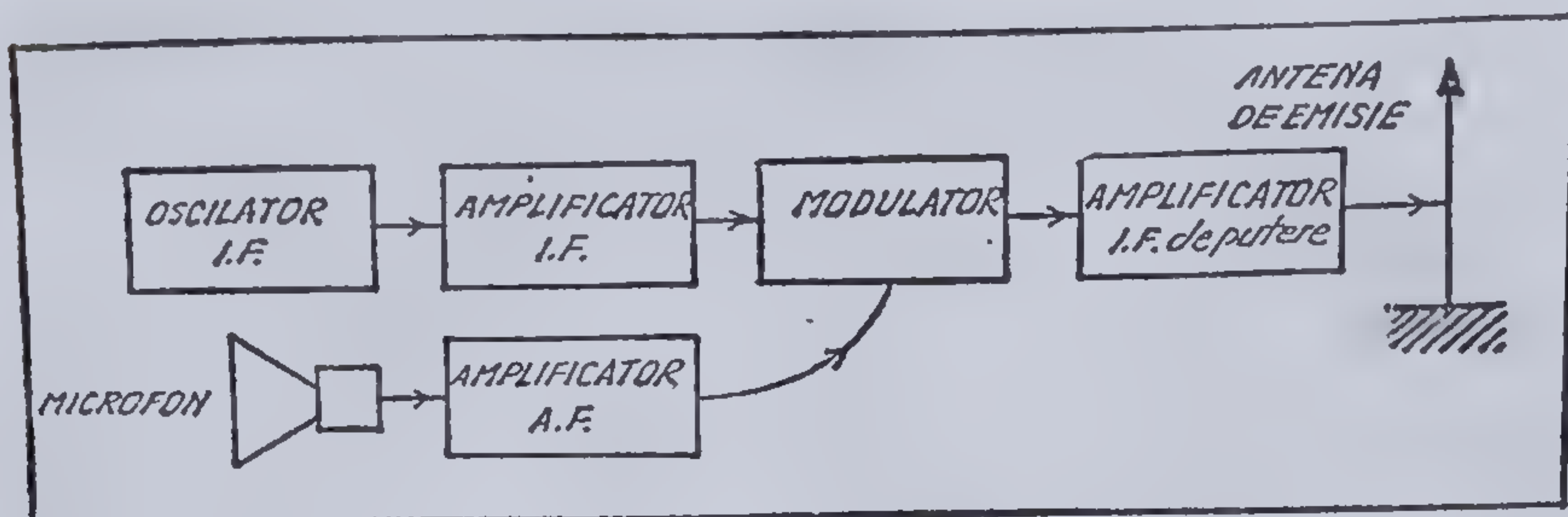


Unda purtătoare de 1 000 000 Hz este modulată de un semnal de AF de 3000 Hz.

În radiofonie banda de trecere a frecvențelor audio este limitată la 4500 Hz. În acest fel, fiecare din *benzile laterale* de modulație, situate de o parte și de alta a frecvenței purtătoare, este de 4500 Hz. Prin urmare, un emițător va ocupa o bandă de frecvențe de 9000 Hz sau 9 kHz.

Din această cauză, în distribuția internațională a frecvențelor purtătoare se prevăd intervale de 9 kHz, alocate pentru a evita recepția simultană a două emițătoare, care ar duce la fluerături de interferență.

Pentru a încheia descrierea emițătoarelor, voi adăuga că, după ce este modulat, curentul de IF trebuie să fie amplificat



Structura unui emițător radio cu modulație de frecvență

în putere, înainte de a fi injectat în antena de emisie pentru a genera unde radioelectrice.

DEZAVANTAJELE REACȚIEI

Să revenim acum la fenomenul reacției. În măsura în care îl putem controla, totul este în ordine. Reacția ne ajută să mărim amplificarea sau să obținem oscilații, după cum dorim.

Din păcate, pot apărea însă și reacții spontane cu efecte neplăcute. O bobină parcursă de curentul anodic poate induce — fără ca acest fenomen să fie dorit — o tensiune într-o bobină din circuitul de grilă, dând naștere unor oscilații, pe care le numim *oscilații parazite*.

Oscilațiile parazite pot lua naștere și datorită unei capacități între componentele din circuitul de ieșire și cele din circuitul de intrare.

Pentru a întrerupe astfel de legături, care se stabilesc prin intermediul unor câmpuri electrice sau magnetice, recurgem la *ecranare*. Ecranele sînt plăci sau cutii metalice care constituie obstacole în calea liniilor de forță. Câmpurile magnetice ale bobinelor și ale transformatoarelor de joasă frecvență sînt închise în cutii de fier. Pentru înalta frecvență se folosesc ecrane de cupru.

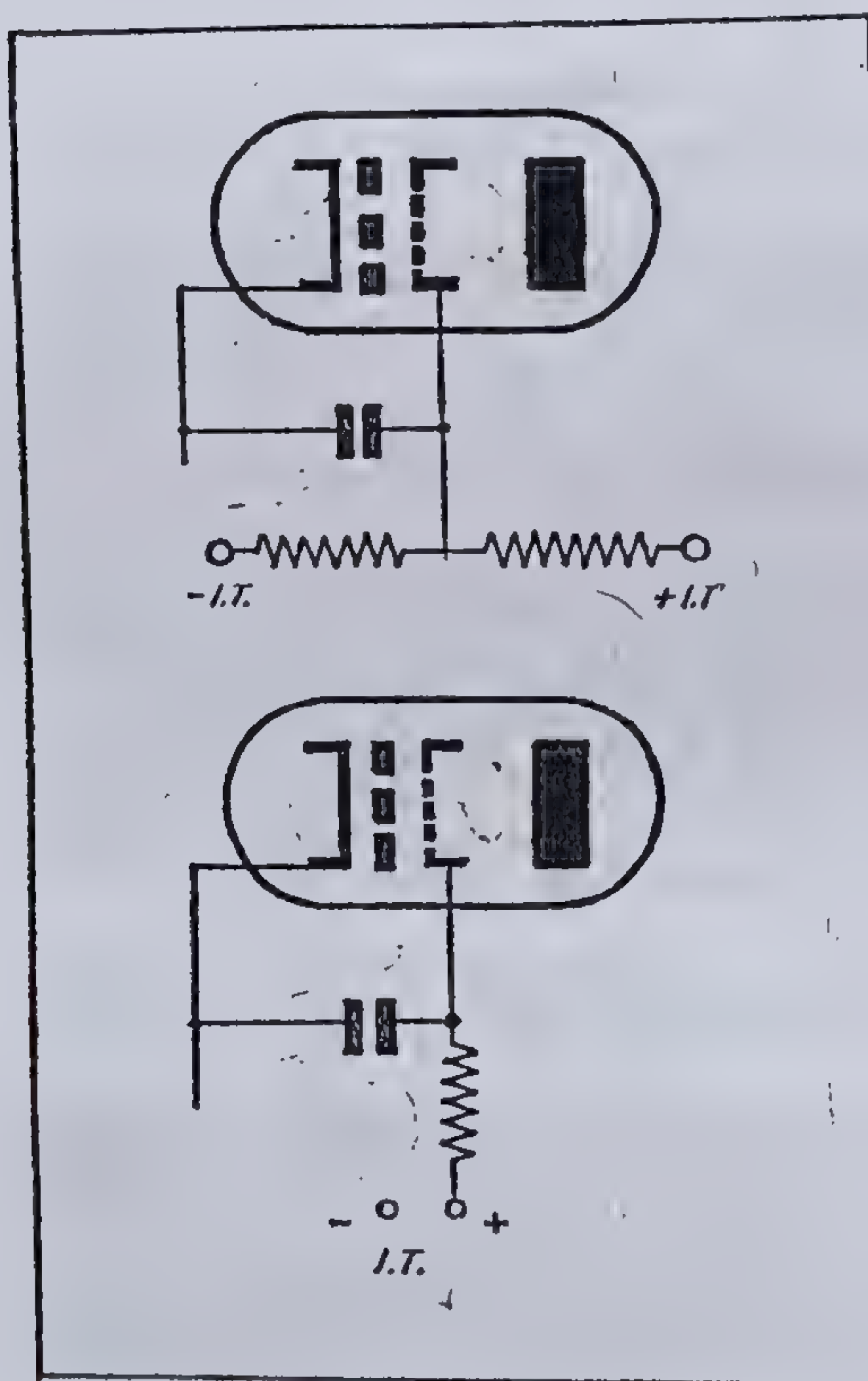
TETRODA

Există o capacitate care poate produce o reacție deosebit de periculoasă : este capacitatea dintre grila și anodul triodei.

Gîndește-te că alternanța pozitivă a tensiunii de pe grilă determină o creștere a curentului anodic. Din această cauză

căderea de tensiune pe impedanța din circuitul anodic crește, producând o scădere a tensiunii pe anod, care respinge, prin capacitatea grilă-anod, mai mulți electroni de pe grilă, făcând-o și mai pozitivă.

Vedeți, deci că ne aflăm în fața unei reacții parazite. Cum s-o combatem ?



Pentru a aplica pe grila-ecran a tetrodei o tensiune pozitivă, se utilizează un divizor de tensiune format din două rezistențe sau se conectează grila-ecran la polul pozitiv al înaltei tensiuni, printr-o rezistență

Și în acest caz, soluția constă în folosirea unui ecran. Nu îgnorăm, să nu crezi că glumesc. Ecranul în chestiune este o grilă pusă la un potențial fix, așezată între grila de comandă și anod. Se realizează astfel un tub cu patru electrozi care conține, în afară de catod și anod, această *grilă-ecran*. Tubul se numește tetrodă de la „tetra” care înseamnă patru în limba greacă.

Pentru ca grila-ecran să nu îngreuneze circulația electronilor ci — dimpotrivă — să o ușureze, i se aplică o tensiune pozitivă înaltă, dar mai mică decât tensiunea anodică.

În acest scop se conectează grila-ecran la punctul comun a două rezistențe legate în serie între cei doi poli ai sursei de înaltă tensiune. Ele formează un *divizor de tensiune*.

Grila-ecran mai poate fi conectată la polul pozitiv al înaltei tensiuni printr-o rezistență. Fiind pozitivă, grila-ecran atrage electronii și curentul care ia naștere produce o cădere de tensiune pe rezistență, stabilind potențialul grilei ecran la valoarea necesară.

Anodul nu exercită decât o influență neglijabilă asupra intensității curentului de ecran, astfel că variațiile acestui curent sînt determinate exclusiv de variațiile tensiunii variabile de pe grila de comandă.

Sper că n-ai uitat definiția factorului de amplificare, care este raportul dintre variația potențialului grilei și variația potențialului pe anod care produce aceeași modificare a curentului anodic. Îți dai deci seama că, la tetrodă, factorul de amplificare este mult mai mare decât la triodă, putînd atinge și chiar depăși valoarea 1000.

În ceea ce privește panta, ea are același ordin de mărime ca la triodă, pentru că acțiunea potențialului grilei de comandă nu este influențată de prezența grilei-ecran.

Cred că-ți amintești că valoarea factorului de amplificare μ rezultă din produsul dintre panta S și rezistența internă R_i .

$$\mu = S \times R$$

Deoarece μ este mult mai mare la tetrodă decât la triodă, iar S are aproximativ aceeași valoare în ambele cazuri, trebuie să presupunem că R_i este mult mai mare. Realitatea este că rezistența internă a unei tetrode este foarte mare și că poate atinge 1 megohm.

EMISIA SECUNDARĂ. PENTODA

Am vorbit pînă acum numai de avantajele tetrodei. Dar calitățile ei sînt umbrite de un mare defect : *emisia secundară*.

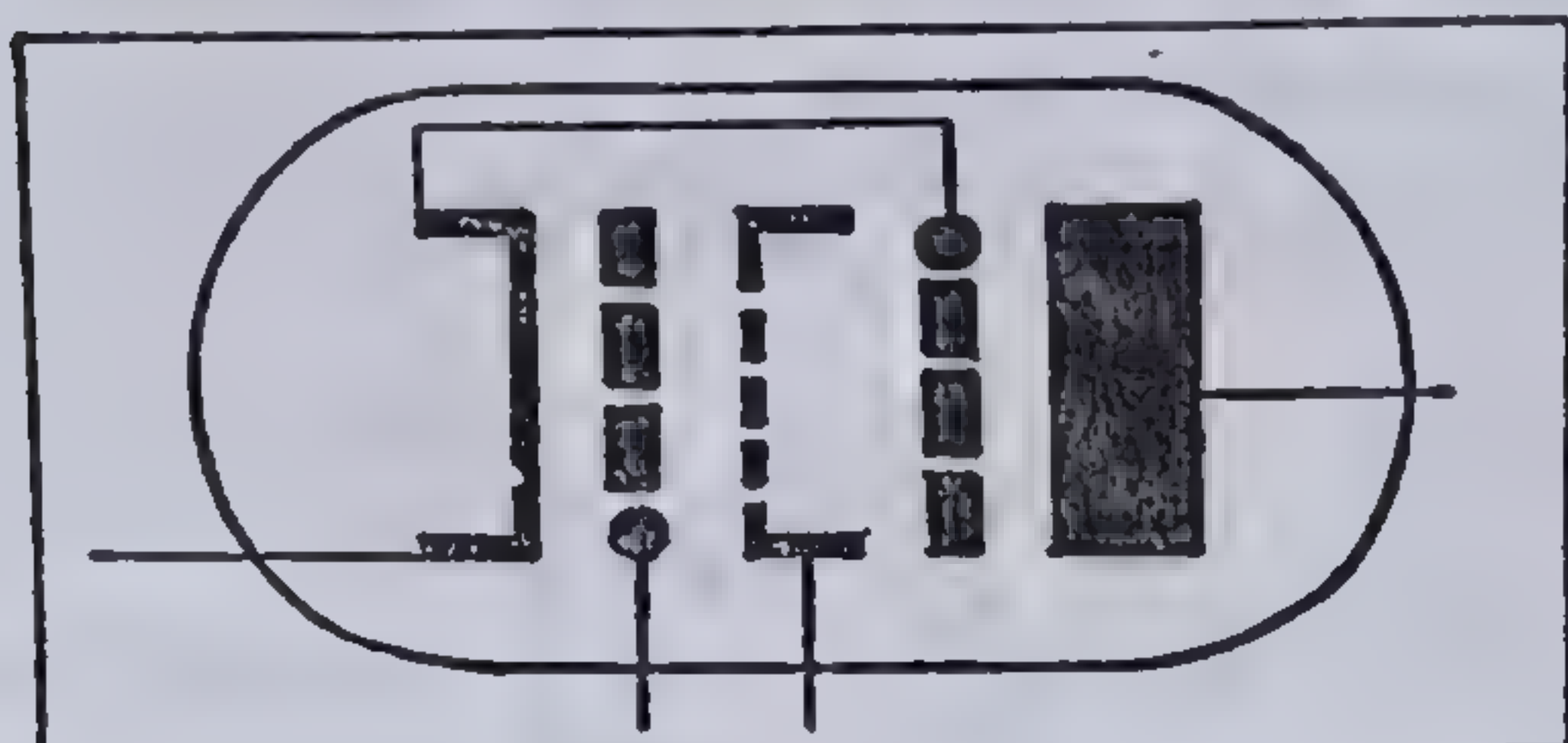
Despre ce este vorba ? Atunci cînd electronii emiși de catod lovesc anodul, șocul provoacă smulgerea unui număr de electroni, care părăsesc moleculele situate la suprafața anodului. Acest fenomen nu constituie un inconvenient în cazul triodei, căci electronii eliberați prin emisie secundară sînt atrași de potențialul pozitiv al anodului.

La tetrodă, lucrurile se complică. Datorită căderii de tensiune pe impedanța străbătută de curentul anodic, tensiunea pe anod scade uneori sub valoarea tensiunii continue de pe grila ecran. În aceste momente, electronii smulși prin emisie secundară sînt atrași de grila-ecran mai mult decît de anod și, fiind absorbiți de grila-ecran, îi măresc curentul.

Prin urmare, emisia secundară produce o circulație de electroni de la anod la grila-ecran, cu sens opus curentului anodic.

Cum se poate înlătura acest grav defect al tetrodei? Pur și simplu, intercalînd o a treia grilă între ecran și anod. Această a treia grilă este conectată, în interiorul tubului, la catod.

Potențialul ei scăzut barează trecerea electronilor relativ lenți, eliberați prin emisie secundară, și îi silește să revină pe anod. În același timp, grila a treia este străbătută cu ușurință de electronii veniți dinspre catod, care, fiind accelerați de grila-ecran și atrași cu putere de anod, au o viteză mare.



Simbolul pentodei.

Acest tub cu trei grile conține deci cinci electrozi. El se numește *pentodă* de la „penta“ care înseamnă cinci în limba greacă.

TUBURI MULTIPLE. HEPTODA. OCTODA

Te întrebă probabil, pînă unde merge creșterea numărului de electrozi în tuburi. Triodele, tetrodele și pentodele constituie tipurile fundamentale de tuburi electronice.

Există și tuburi care conțin combinații ale acestor ansambluri elementare. Există, pe de o parte, tuburi multiple în care ansamblurile incluse în același balon de sticlă au, în general, catodul comun. Acesta este, de exemplu, cazul duodiodei utilizate pentru redresarea curentului alternativ.

Există și tuburi în care ansamblurile elementare sînt dispuse în prelungire. Pe acest principiu s-au realizat tuburi cu 7 și 8 electrozi numite *heptode* și *octode*.

Despre ele vom vorbi altădată.

Convorbirea a 8-a

Superheterodina

Practic, totalitatea receptoarelor moderne de radio și de televiziune sînt superheterodine. În această convorbire se expun principiile schimbării de frecvență, diversele metode folosite în acest scop, tuburile electronice utilizate și sistemul de acord unic.

INCONVENIENTELE AMPLIFICĂRII ÎNALTEI FRECVENȚE

IGNOTUS : Trebuie să-ți mărturisesc, dragă Curiosus, că ultima expunere a unchiului tău mi-a lăsat o impresie profundă. Reacția care poate fi, după caz, utilă sau dăunătoare, suprapunerea oscilațiilor de diferite frecvențe, tuburile cu număr mare de electrozi, toate mi se învîrtesc și acum în cap.

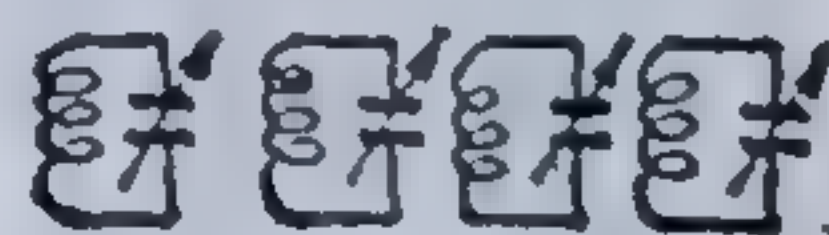
CURIOSUS : Ceea ce ai aflat te va ajuta să înțelegi mai bine de ce s-a ajuns la *superheterodină* și cum funcționează ea.

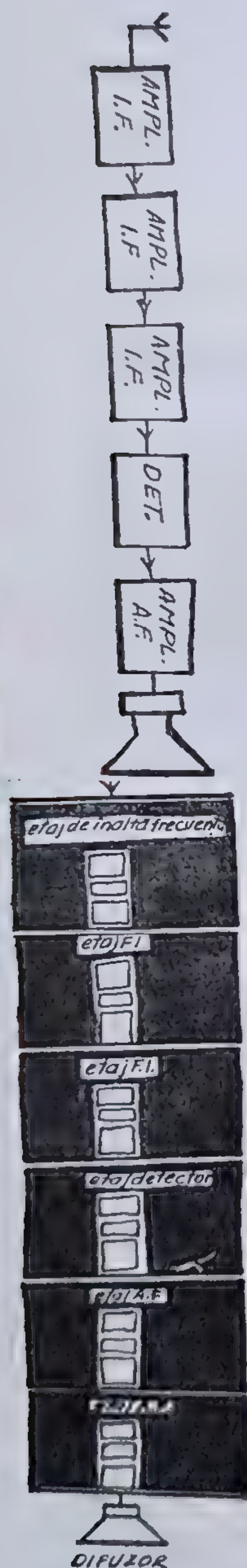
IGNOTUS : La ce se referă acest „supernume“ ?

CURIOSUS : La un receptor de o concepție foarte rațională, inventat în 1917 de specialistul francez Lucien Levy. Aparatul se caracterizează printr-o sensibilitate și o selectivitate ridicate și este ușor de acordat.

IGNOTUS : Mi se pare că o sensibilitate ridicată și o selectivitate bună se pot obține montînd, pur și simplu, un număr suficient de etaje amplificatoare de IF.

CURIOSUS : Teoretic, ai dreptate, dar în practică, nu. Căci atunci cînd se folosesc mai multe etaje de IF, trebuie să în-
trebuințăm ecrane, pentode și alte mijloace pentru evitarea cuplajelor nedorite care ating, în general, valori destul de mari și pot produce oscilații parazite, deci oscilații care să interfereze cu curenții de IF ai emisiunilor recepționate.





Cuplajele parazite sînt cu atît mai periculoase, cu cît este mai înaltă frecvența de lucru. Din această cauză, este practic imposibil să se asigure o amplificare eficientă de înaltă frecvență, pentru undele scurte și mai ales pentru undele ultrascurte.

În plus, etajul de IF trebuie să conțină cel puțin un circuit acordat pe frecvența emisiunii recepționate. Îți dai seama cît este de complicat să faci, de fiecare dată acordul unui mare număr de circuite.

PRINCIPIUL SUPERHETERODINEI

IGNOTUS : Cunosc deci dificultățile utilizării mai multor etaje amplificatoare de IF. Care ar fi soluția ?

CURIOSUS : *Schimbarea de frecvență.* Frecvențele recepționate sînt coborîte pînă la o valoare constantă numită *frecvență intermediară* (mai demult se folosea termenul *medie frecvență*), care este suficient de joasă pentru ca să nu prezinte inconvenientele de care vorbeam. În același timp, circuitele acordate pe această frecvență intermediară (prescurtat FI) asigură o selectivitate excelentă, fără să impună manevre complicate de acord pentru că, după schimbarea de frecvență, toate emisiunile recepționate au aceeași FI. Deci circuitele acordate pe FI sînt reglate din fabrică pe această frecvență care este în general de 455 kHz, o valoare adoptată de multă vreme.

IGNOTUS : Încep să-mi dau seama de avantajele unei astfel de scheme. Aș vrea să știu însă, cum se face schimbarea de frecvență. Nu cumva, suprapunînd semnalul de IF recepționat, cu o oscilație care diferă de el exact cu FI ? Din interferența acestor două frecvențe ar rezulta diferența lor, deci chiar valoarea FI.

SCHIMBAREA DE FRECVENȚĂ

CURIOSUS : Constat, dragă Ignotus, că dacă superheterodina n-ar fi fost inventată din 1917, ai fi inventat-o tu acum... Într-adevăr, pentru a realiza schimbarea de frecvență, se suprapun IF recepționată și oscilațiile generate în receptor. Frecvența acestora este mai mare sau mai mică decît frecvența recepționată, dar diferența dintre ele este FI.

Să presupunem că amplificatorul FI este acordat pe 455 kHz și că vrem să recepționăm lungimea de undă de 25 de metri. Care este, după părerea ta, frecvența oscilatorului local ?

IGNOTUS : 25 de metri ar corespunde unei frecvențe egale cu $30\,000\,000 : 25 = 12\,000\,000 \text{ Hz} = 12\,000 \text{ kHz}$. Amplificatorul FI fiind acordat pe 455 kHz, oscilatorul local trebuie să producă fie $12\,000 + 455 = 12\,455 \text{ kHz}$ fie $12\,000 - 455 = 11\,545 \text{ kHz}$.

În ambele cazuri se obține, prin suprapunere, o frecvență de 455 kHz.

CURIOSUS : Văd că te pricepi la aritmetică... Și pentru că ai sesizat atât de bine principiul superheterodinei, să trecem la examinarea modului în care se realizează în practică schimbarea de frecvență.

La început, se folosea pentru această schimbare un oscilator separat. Pe schema pe care am desenat-o, curentul anodic al tubului induce, cu ajutorul unei bobine, un curent în circuitul de intrare. Acesta este acordat pe IF a emisiunii pe care dorim s-o recepționăm.

Prin urmare, pe grila primei triode vor apare simultan cele două frecvențe : frecvența recepționată și cea produsă de oscilatorul local. Și cum tubul are grila polarizată negativ, el va lucra în regim de detecție și pe anod se va obține un curent de frecvență intermediară. Acest curent este trimis la tubul amplificator de FI printr-un transformator care are primarul și secundarul acordate pe frecvența intermediară. Pe vremea când se folosea această schemă, primul etaj FI era, în general, urmat de încă unul.

DE LA BIGRILĂ LA OCTODĂ

IGNOTUS : Trebuie să înțeleg din spusele tale că, mai târziu, generarea oscilației și amestecul celor două frecvențe s-au făcut în același tub ?

CURIOSUS : La acest rezultat s-a ajuns treptat. Într-o primă etapă s-a recurs la tubul cu două grile numit și „bigrilă”, pe care nu trebuie să-l confunzi cu tetroda. Bigrila conține două grile de comandă. Pe prima grilă se aplică tensiunea produsă de oscilatorul local ; pe cea de a doua — tensiunea recepționată de antenă.

Bigrila este un tub amestecător destul de bun. Dar capacitatea dintre grile poate produce uneori un cuplaj parazit între circuitul de intrare și oscilator. Cuplajul poate determina oscilatorul să genereze pe frecvența de acord a circuitului de

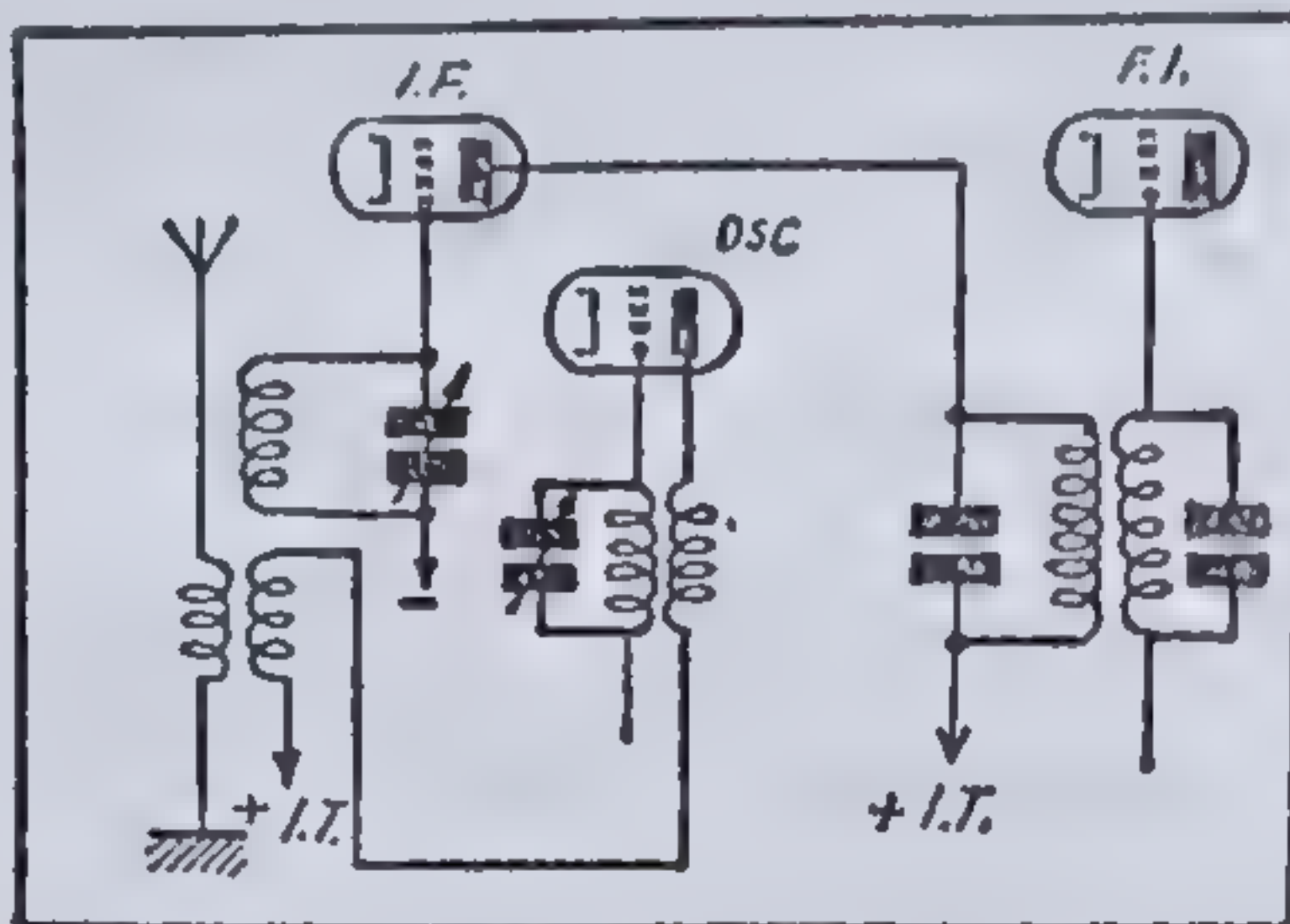
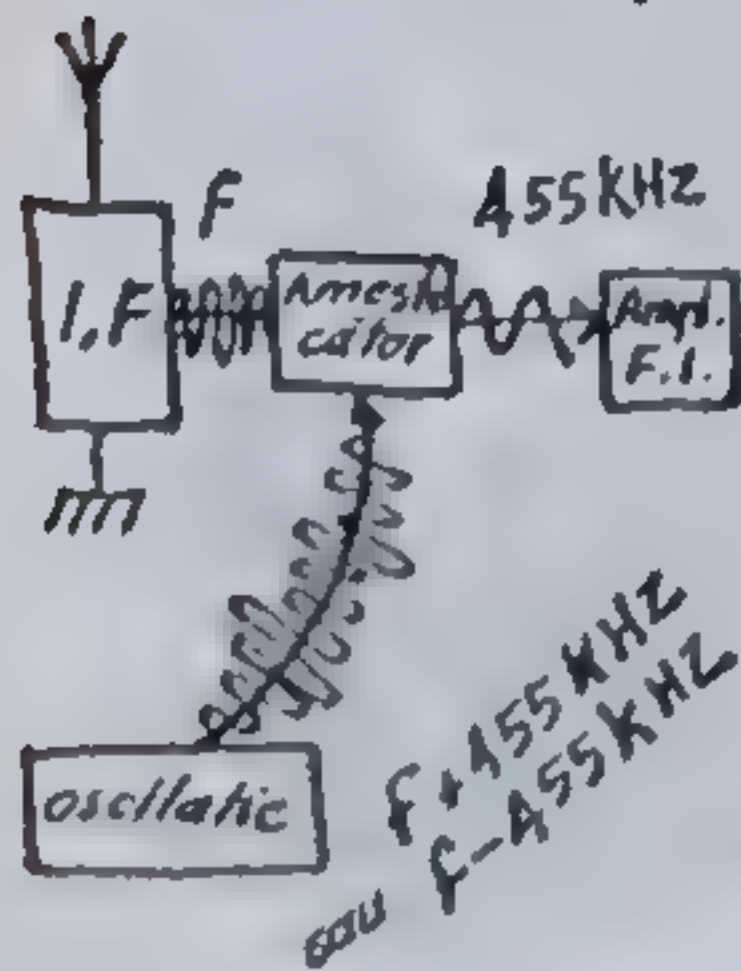


25m. lungime de undă
frecvență:

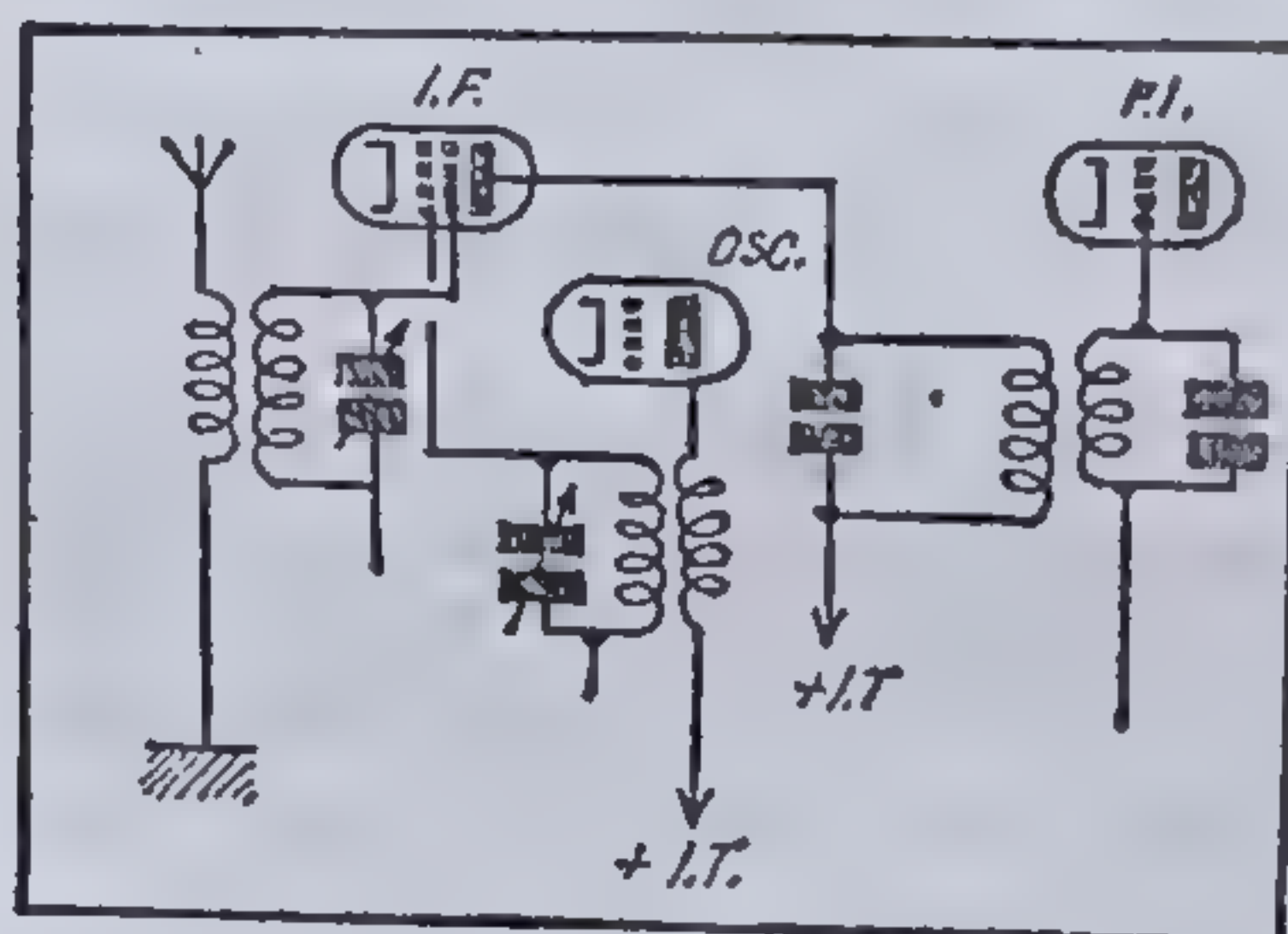
$$\frac{300\,000\,000}{25} = 12\,000\,000\text{ Hz}$$

$$12\,000\,000\text{ Hz}$$

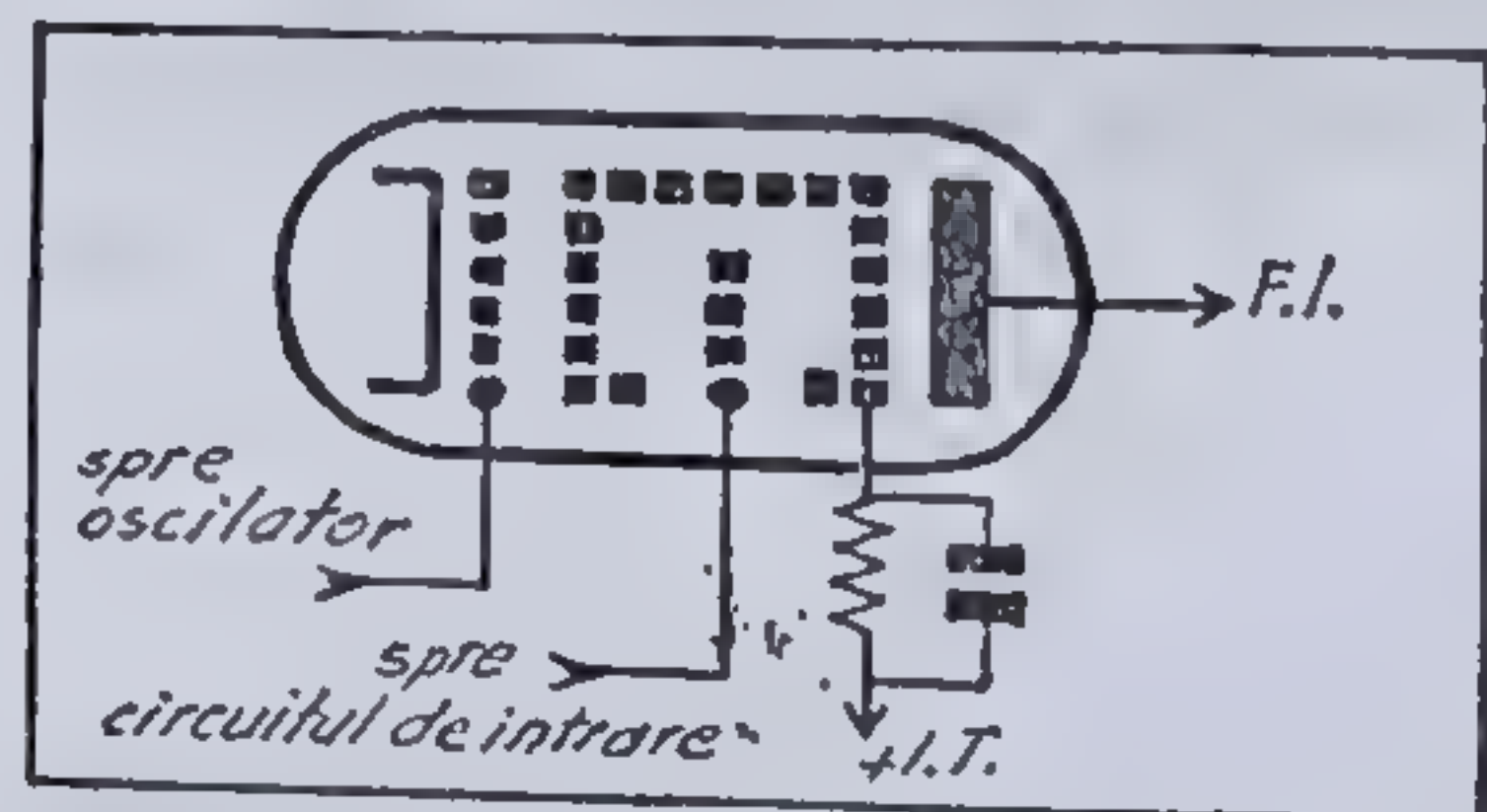
$$= 12\,000\text{ kHz}$$



În schimbătorul de frecvență se suprapun semnalul IF captat de antenă și oscilațiile generate de tubul OSC. Semnalul de frecvență intermediară rezultat se aplică etajelor de FI.



Cu ajutorul tubului bigrilă se realizează o suprapunere eficientă a semnalului IF și a oscilației locale.



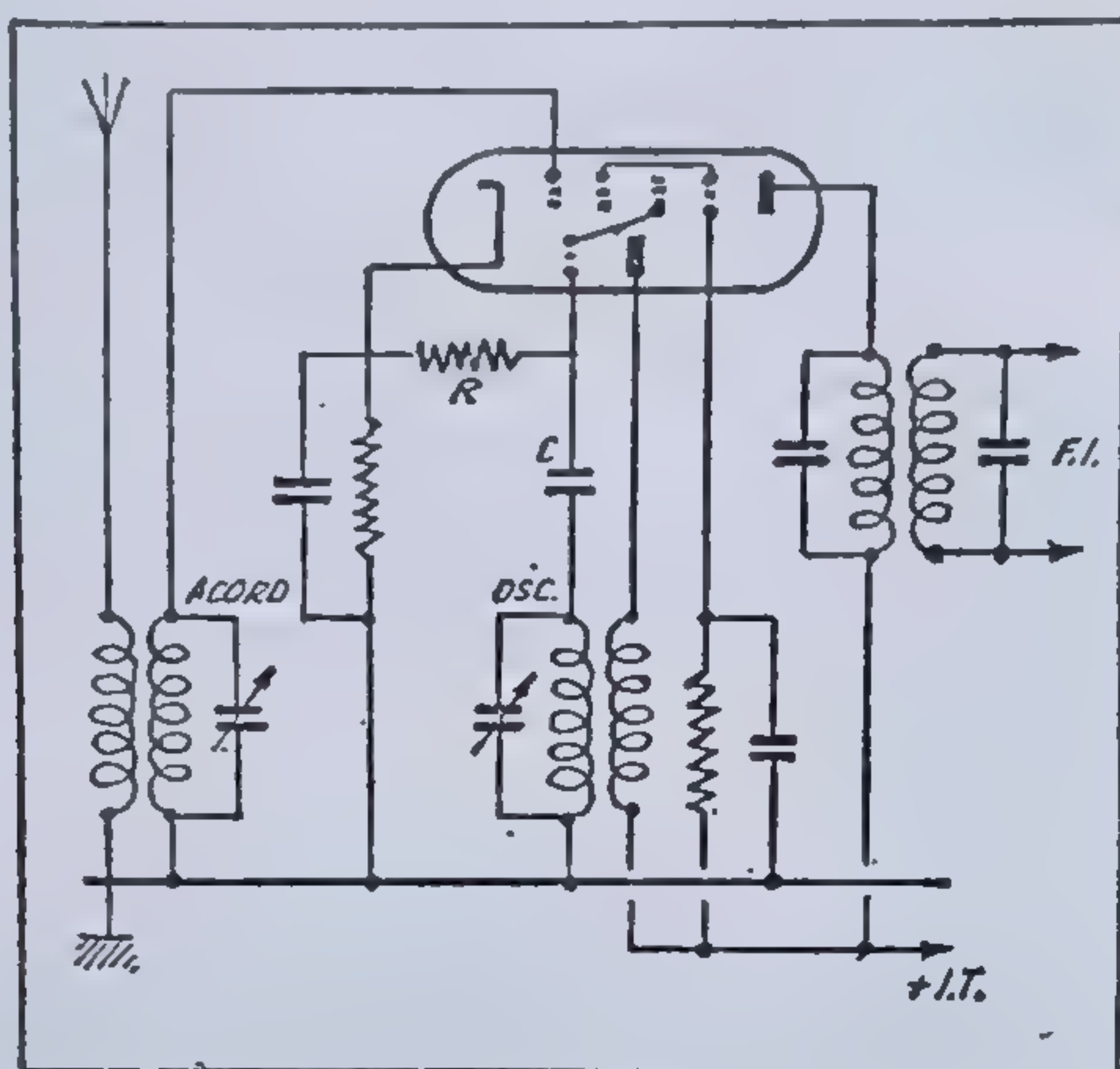
Pentru a înlătura capacitatea dintre cele două grile ale bigri-
lei, se folosește hexoda.

intrare. În acest fel funcționarea întregului ansamblu poate fi compromisă.

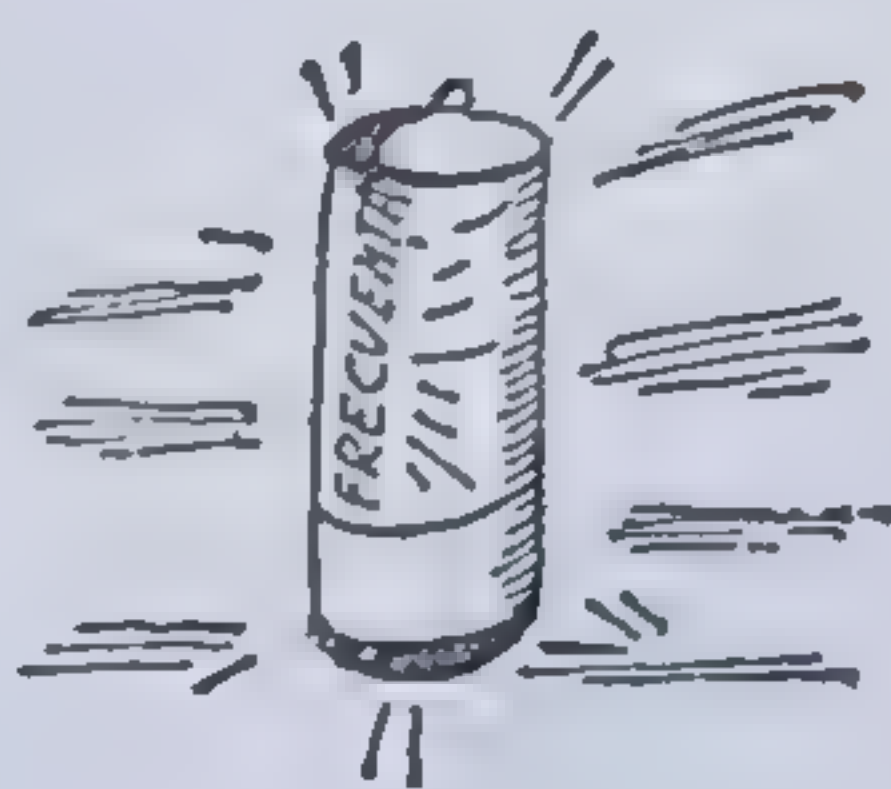
IGNOTUS: Cum se remediază acest defect? Se recurge cumva la o grilă-ecran?

CURIOSUS: Mai mult decât atât: cea de a doua grilă se înconjoară cu două grile ecran. Primul ecran asigură izolarea față de prima grilă, iar al doilea ecran, față de anod. Așa s-a născut hexoda, tubul cu șase electrozi. În limba greacă „hexa” înseamnă șase.

IGNOTUS: Pentru schimbarea de frecvență sînt necesare totuși două tuburi: hexoda amestecătoare și trioda — oscilator local.



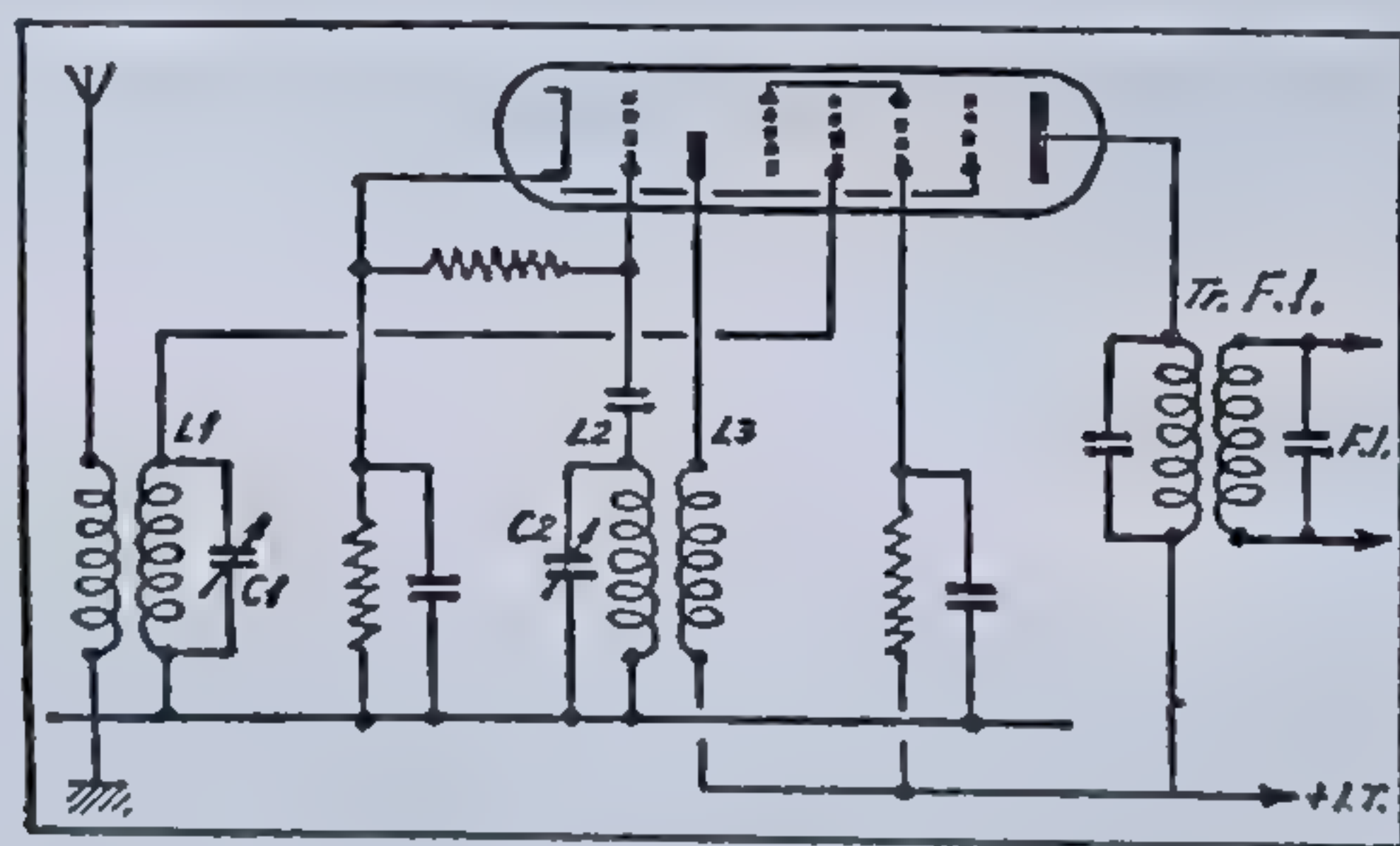
Schimbarea de frecvență cu ajutorul triodei-hexode.



CURIOSUS : Până la urmă, s-a construit un tub combinat triodă-hexodă cu catod comun și cu grila a treia a hexodei conectată direct, în interiorul tubului, la grila triodei oscilatoare.

IGNOTUS : Acest tub cu opt electrozi se numește octodă, nu ?

CURIOSUS : Nu. *Octoda* este o combinație a unei triode cu o pentodă a cărei grilă-ecran încadrează grila de comandă în ambele părți.

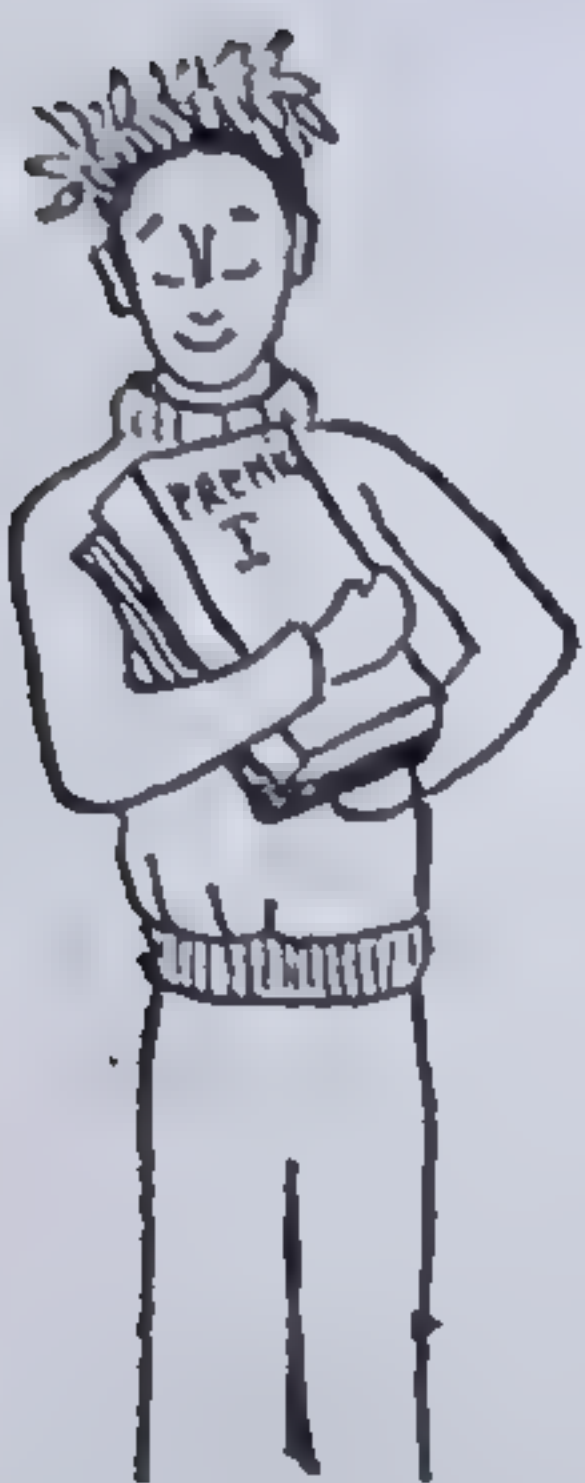


Schimbarea de frecvență cu ajutorul octodel.

Trioda are un anod de dimensiuni reduse, astfel încât fluxul de electroni nu este perturbat în drumul său către pentodă. Trioda servește drept oscilator, iar tensiunea captată de antenă se aplică pe grila pentodel.



FRECVENȚA IMAGINE



IGNOTUS : Mă întreb dacă nu riscăm să recepționăm, în același timp, două emisiuni diferite, cu ajutorul superheterodinei ? Să presupunem că vrem să recepționăm o stație cu lungimea de undă de 300 m, ceea ce corespunde la 1000 kHz. Frecvența intermediară fiind de 455 kHz, vom acorda oscilatorul local pe 1455 kHz și diferența dintre cele două frecvențe va fi exact FI.

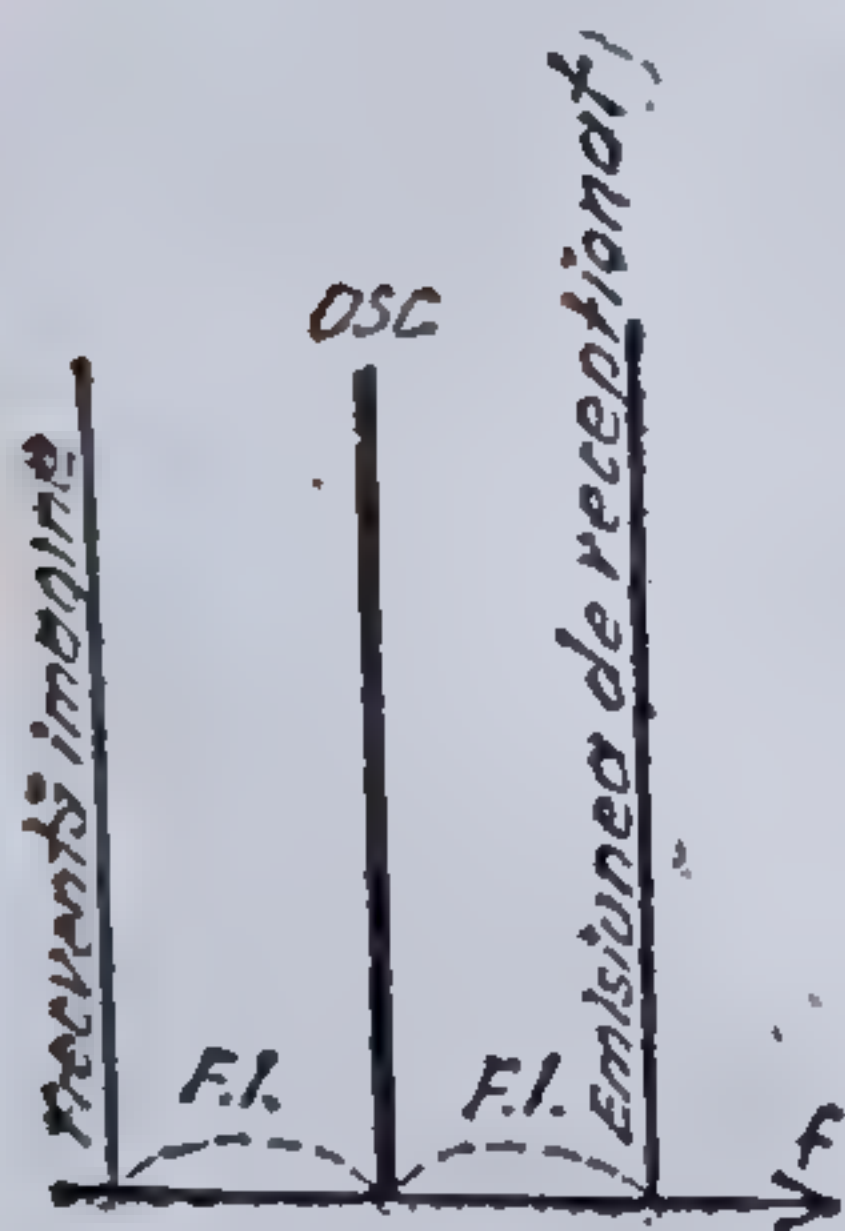
Să presupunem acum că antena noastră captează și o emisiune transmisă pe 1910 kHz. Suprapusă peste cei 1455 kHz ai oscilatorului local, și această frecvență va duce la $FI = 455$ kHz. Astfel se va putea recepționa o a doua emisiune.

CURIOSUS : Într-adevăr, există riscul ca superheterodina să recepționeze, în afară de emisiunea dorită, o a doua emisiune a cărei frecvență diferă de cea a oscilatorului local tot cu 455 kHz. Această a doua frecvență poartă numele de frecvență imagine, pentru că este simetrică cu prima față de frecvența oscilatorului local.

IGNOTUS : Cum se evită această deficiență ?

CURIOSUS : Mărind selectivitatea receptorului înainte de intrarea în schimbătorul de frecvență, de exemplu prin introducerea unui etaj acordat de IF.

Pericolul recepționării frecvenței imagine este minim, datorită valorii destul de mari a frecvenței intermediare. Distanța dintre frecvența imagine și frecvența utilă este de $455 \times 2 = 910$ kHz. Pentru a evita o emisiune atât de îndepărtată nu este nevoie de o selectivitate prea mare.



REGLAJ UNIC

IGNOTUS : Ai dreptate. Cred, de altfel, că și operația de acord a superheterodinei este simplă : cu o mână se rotește butonul condensatorului variabil care acordează circuitul de intrare, iar cu a doua se reglează condensatorul de acord al oscilatorului local.

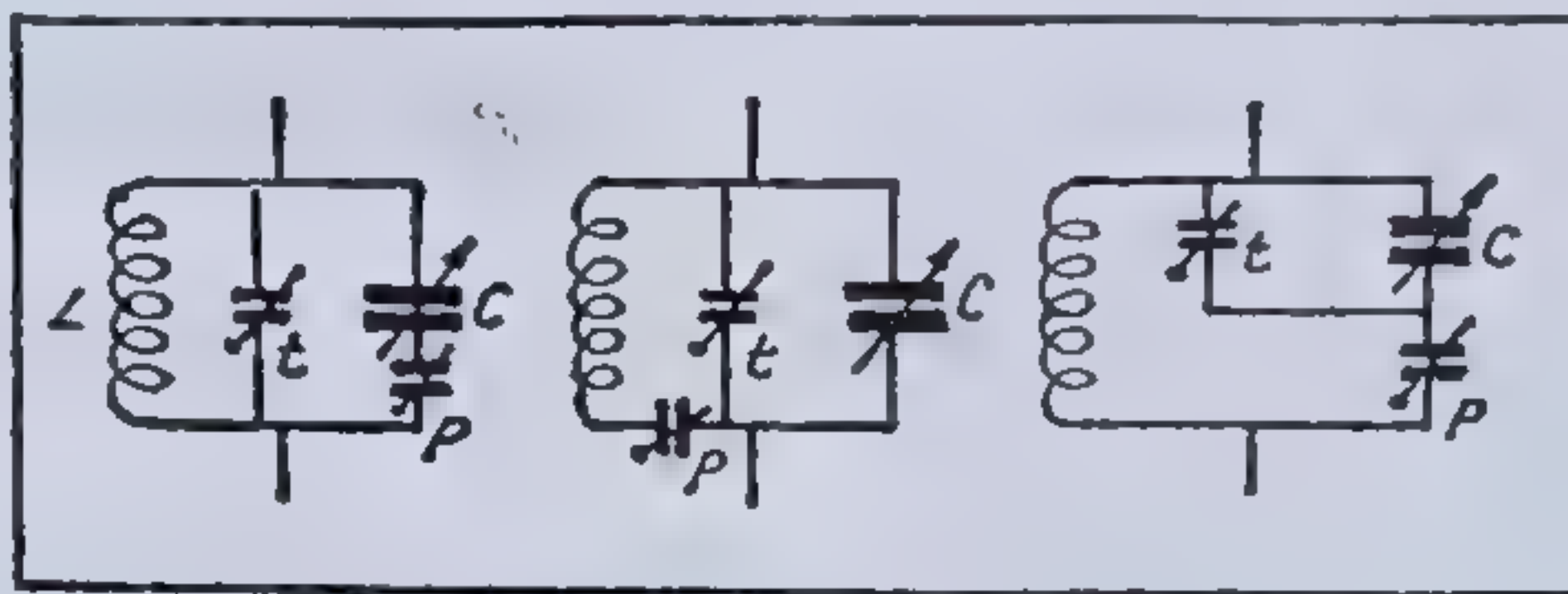
CURIOSUS : O singură mână ajunge, pentru că cele două condensatoare au armăturile fixate pe același ax și sînt, în consecință, comandate cu un singur buton !

IGNOTUS : Nu cred că acest sistem va funcționa bine. Diferența dintre frecvențele celor două circuite trebuie să fie

permanent constantă. Acest lucru nu poate fi realizat dacă cele două condensatoare se reglează simultan, decît cu condiția să existe un decalaj între ele.

CURIOSUS : Nu aceasta este soluția. Capacitatea celor două condensatoare variabile este identică, în toate pozițiile.

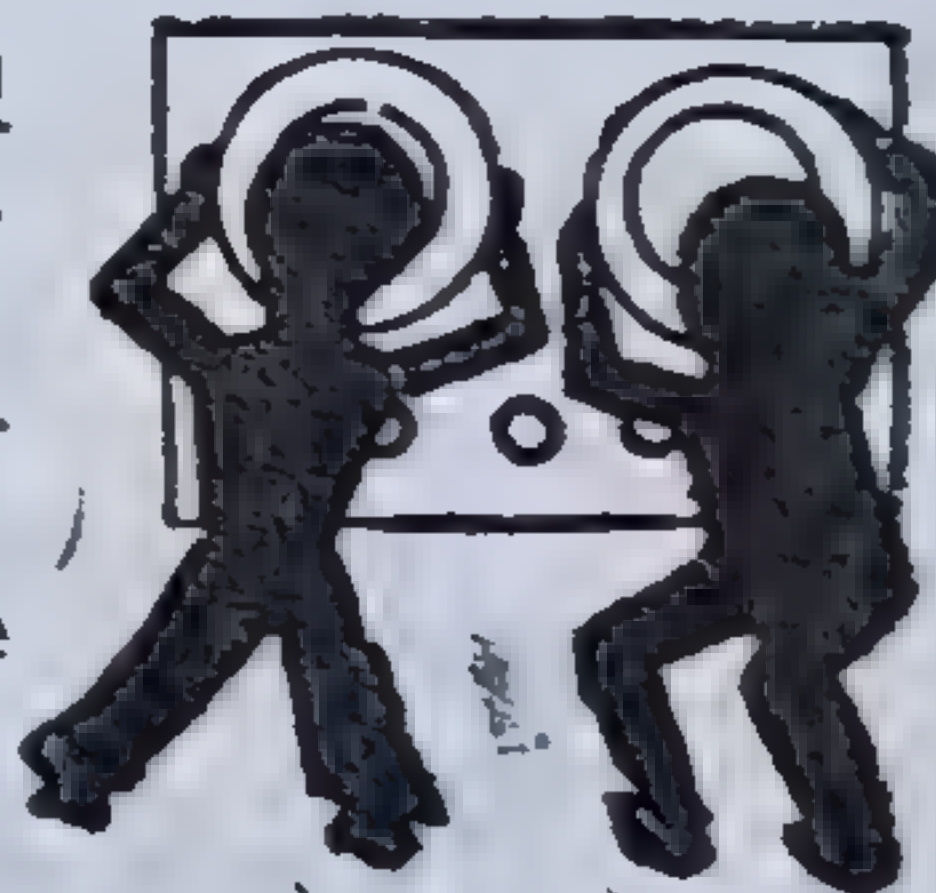
Trei moduri de conectare a condensatoarelor ajustabile t și p în circuitul acordat al oscilatorului; datorită lor reglajul celor două condensatoare variabile se poate face cu un singur buton.



Pentru a obține diferența dintre cele două capacități se utilizează două condensatoare ajustabile, unul în derivație pe condensatorul variabil al oscilatorului, cunoscut sub denumirea engleză *trimmer*, și altul de capacitate mult mai mare legat în serie cu condensatorul variabil (*padding*).

Trimmer-ul mărește capacitatea ansamblului, iar padding-ul o reduce. Alegînd valori convenabile pentru cele două condensatoare, se obține o variație a capacității totale care să asigure, după schimbarea de frecvență, obținerea frecvenței FI.

IGNOTUS : Constat că realizarea unei superheterodine nu e deloc simplă. Dar, ținînd cont de rezultat, efortul merită să fie făcut.



Profesorul Radiol descrie diverse

Sisteme de alimentare

Dacă receptoarele portative cu tranzistoare sînt, în general, alimentate cu ajutorul bateriilor, celelalte aparate de radio și televiziune primesc curentul necesar din rețeaua de energie electrică. Cum se obține tensiunea de filament și tensiunea anodică? Veți afla din cele ce urmează. Profesorul Radiol explică diversele metode de redresare și de filtrare a curentului anodic, precum și structura condensatoarelor electrolitice.

Pînă acum, dragii mei Curiosus și Ignotus, n-ați discutat decît despre circuite cu tuburi electronice. Nu vă fac nici un reproș. Chiar dacă majoritatea radioreceptoarelor moderne utilizează semiconductoarele, există încă destule aparate „cu lămpi“, cum se spunea pînă nu demult. Totodată, există circuite în care utilizarea tuburilor electronice este obligatorie și astăzi.

Data viitoare vă voi vorbi despre bazele fizice ale semiconductoarelor. Acum însă ne vom ocupa de un domeniu pe care nu l-ați tratat în discuțiile voastre: electroalimentarea.

CARACTERISTICILE REȚELEI

Toate aparatele electronice au nevoie de surse de alimentare. Radioreceptoarelor portative le sînt suficiente bateriile de 4,5 pînă la 9 volți. Receptoarele mai mari și televizoarele se alimentează, de obicei, din rețeaua de curent alternativ. Care sînt caracteristicile rețelei?

În Europa, frecvența rețelei este de 50 de perioade pe secundă, în Statele Unite frecvența este de 60 de perioade pe secundă.

În ceea ce privește tensiunea, se tinde către generalizarea valorii de 220 V. Există însă și tensiuni de 110, 127 și chiar 240 V. Din această cauză schemele de alimentare trebuie să fie, pe cât posibil, adaptate la mai multe situații de acest fel.

CURENTUL DE ALIMENTARE

Să vedem întâi care sînt curenții și tensiunile necesare pentru alimentarea unui receptor de radio sau de televiziune, echipat cu tuburi.

În primul rînd, trebuie asigurată alimentarea filamentelor. Din fericire, în acest domeniu s-a ajuns la o uniformizare pe scară mondială: practic, pentru toate filamentele obișnuite tensiunea este de 6,3 V.

Cum, de cele mai multe ori, încălzirea este indirectă, aplicarea pe filament a unei tensiuni alternative nu prezintă inconveniente.

Pentru polarizarea grilelor nu se întrebuintează surse de alimentare separate, ci se recurge la căderile de tensiune pe rezistențe. De altfel, voi ați discutat această chestiune atunci cînd v-ați ocupat de obținerea tensiunii necesare pentru grila-ecran.

Mai rămîne de rezolvat problema înaltei tensiuni, pentru circuitul anodic. Această tensiune — neapărat continuă — poate atinge, în funcție de tipul tubului, cîteva sute de volți. În ceea ce privește intensitatea curentului anodic, aceasta variază de la cîteva miliamperi pînă la fracțiuni de amper, atunci cînd este vorba de tuburi de putere.

Cum se asigură aceste două surse de curent necesare pentru filamente și pentru tensiunea anodică?

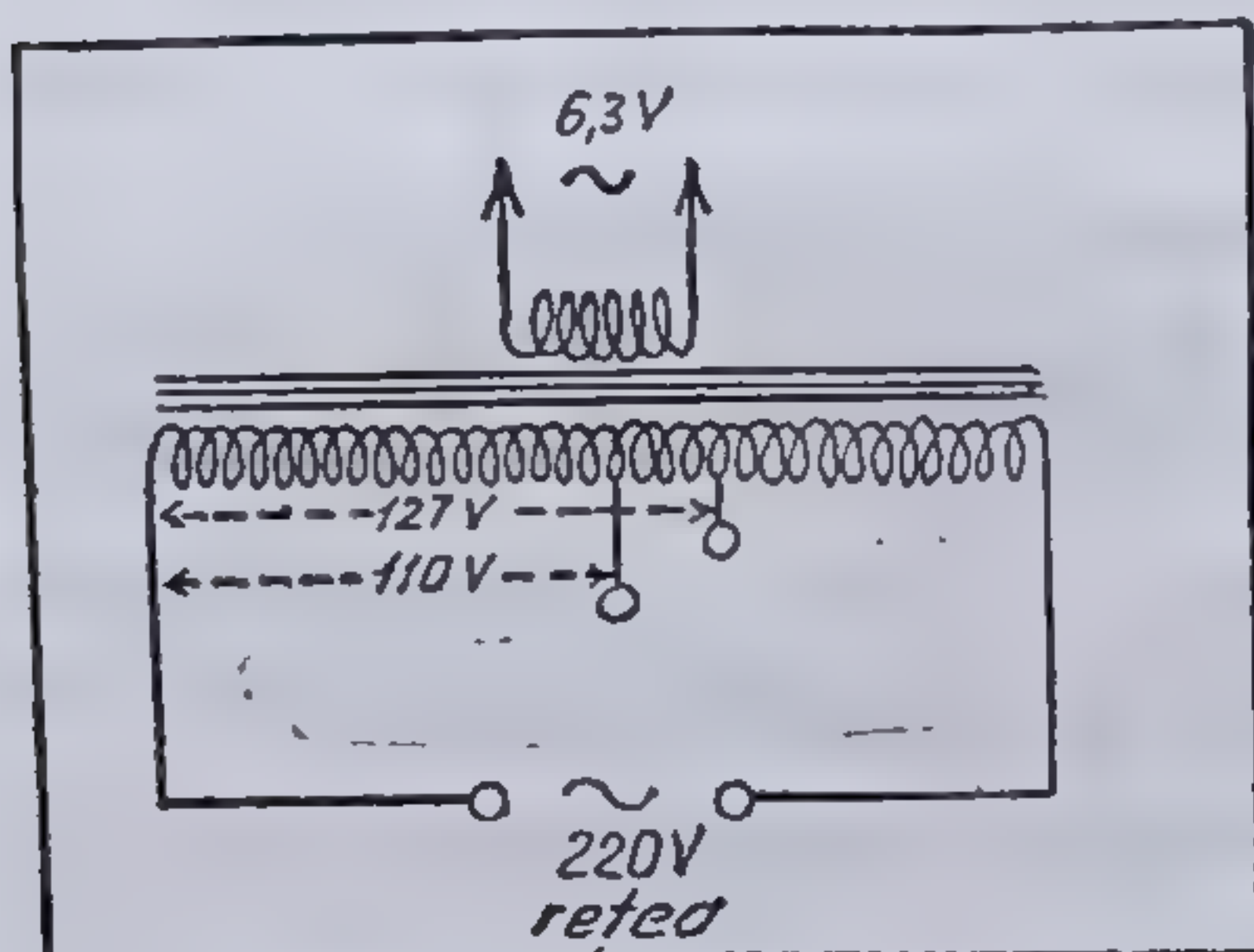
CUM SE OBTIN TENSIUNILE ANODICE ȘI DE FILAMENT

Pentru a coborî tensiunea rețelei la 6,3 V, cît este necesar pentru filamentele tuburilor, se utilizează un transformator. Bineînțeles, transformatorul are un miez magnetic. În bobinajul primar al transformatorului se pot prevedea mai multe prize pentru diversele tensiuni ale rețelei.

După cum vezi, problema filamentelor se rezolvă destul de simplu. Mai puțin simplă este problema alimentării anodice,

căci aci nu e vorba numai de creșterea valorii tensiunii ci și de obținerea unei tensiuni continue.

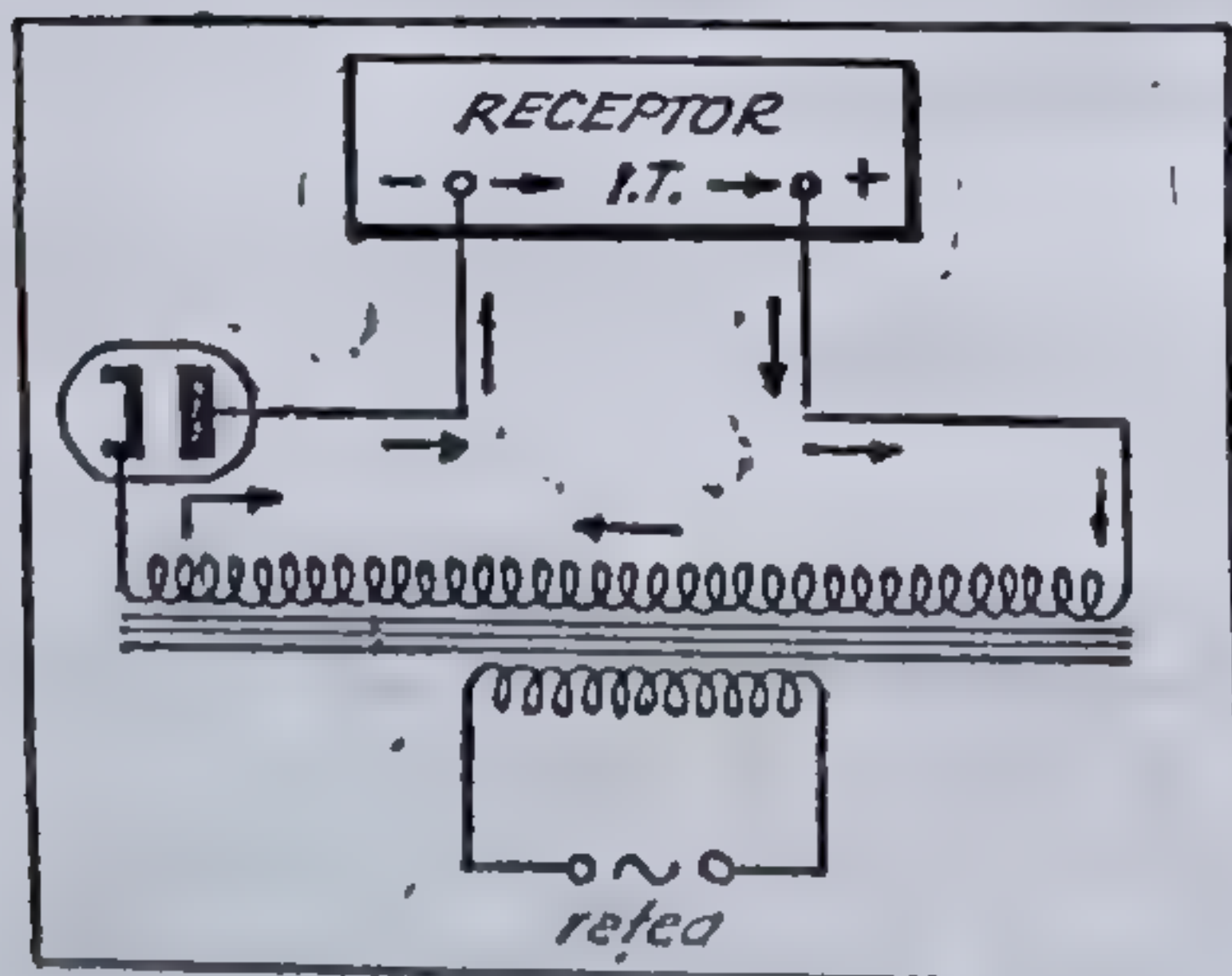
Pentru a obține o tensiune înaltă se folosește — cum era de așteptat — un transformator. Trebuie să-ți atrag atenția asupra faptului că se utilizează un singur transformator cu mai multe bobinaje secundare pentru toate tensiunile de alimentare. Un bobinaj furnizează 6,3 V pentru filamente; altul ne pune la dispoziție înalta tensiune al cărei curent urmează să fie convertit în curent continuu.



Transformator care furnizează tensiunea de 6,3 V pentru filamente, alimentat la rețeaua de 220 sau 110 V.

Pentru a obține acest rezultat, curentul trebuie redresat, adică trebuie să circule numai într-un singur sens. Un dispozitiv care poate fi folosit în acest scop îți este cunoscut; este vorba de diodă.

Am însemnat pe schemă, cu săgeți, sensul curentului de electroni, redresat de diodă. Observi desigur că redresăm numai o alternanță din două.

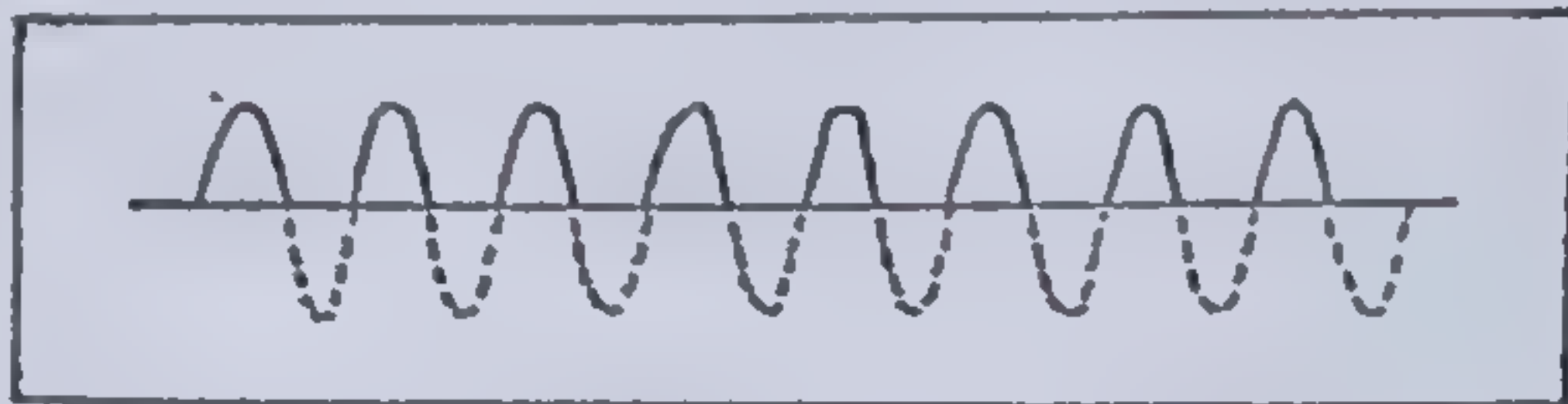


Circuit pentru redresarea unei din cele două alternanțe ale înaltei tensiuni, cu ajutorul unei diode.

Înalta tensiune rezultată este destul de greu de nivelat, pentru a putea aplica pe anozii receptorului o tensiune con-

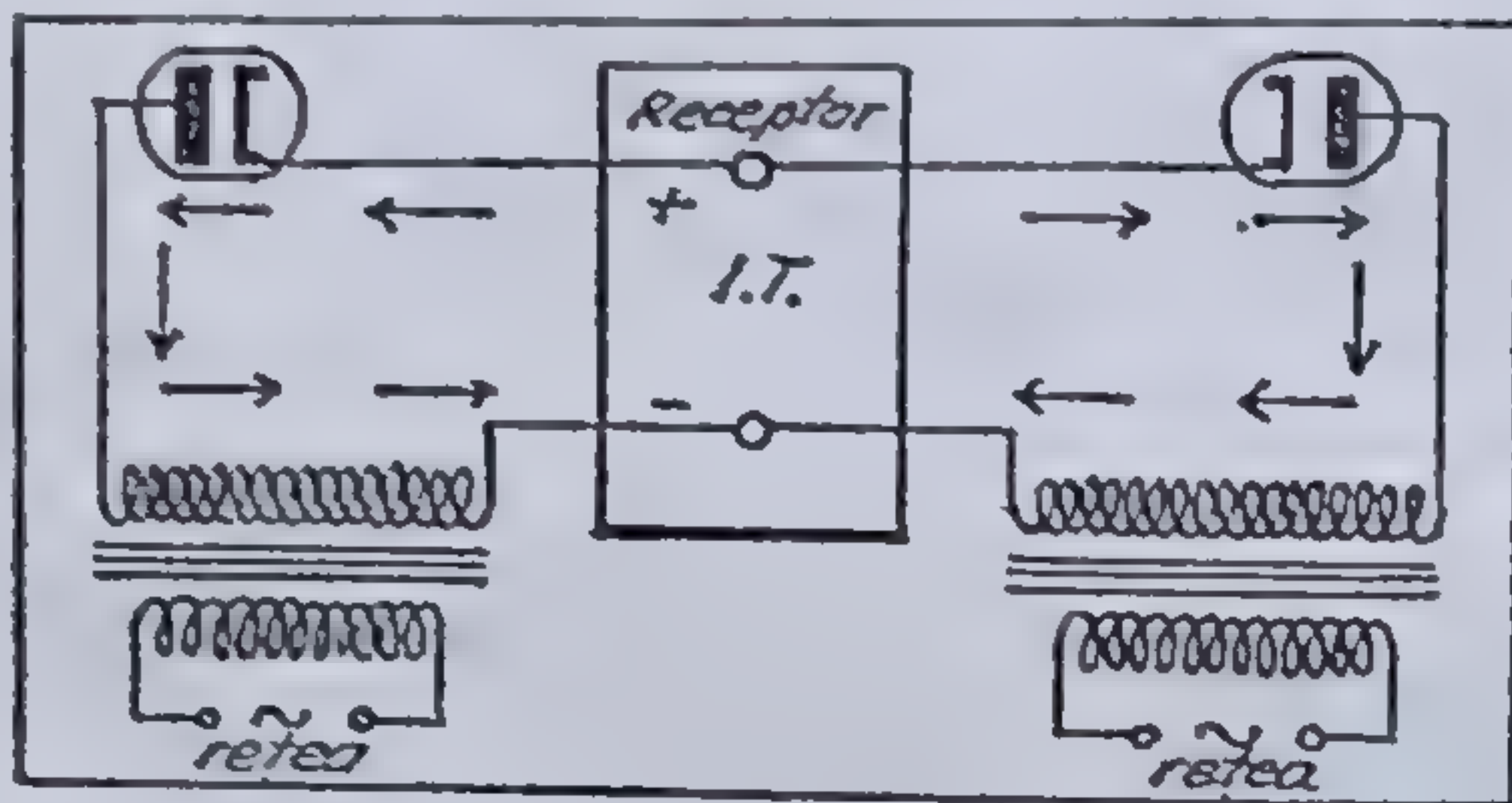
tinuă. Iată de ce este de preferat să se redreseze ambele alternanțe ale fiecărei perioade. Cum trebuie să procedăm ?

Alternanțele care trec prin diodă sînt figurate cu linie plină. Cu linie punctată sînt reprezentate alternanțele a căror trecere este împiedicată și care nu sînt utilizate, din această cauză.



Iată cum arată o schemă cu două redresoare. În timpul unei alternanțe, curentul va trece prin unul din ele ; în timpul celeilalte alternanțe, va trece prin cel de al doilea redresor.

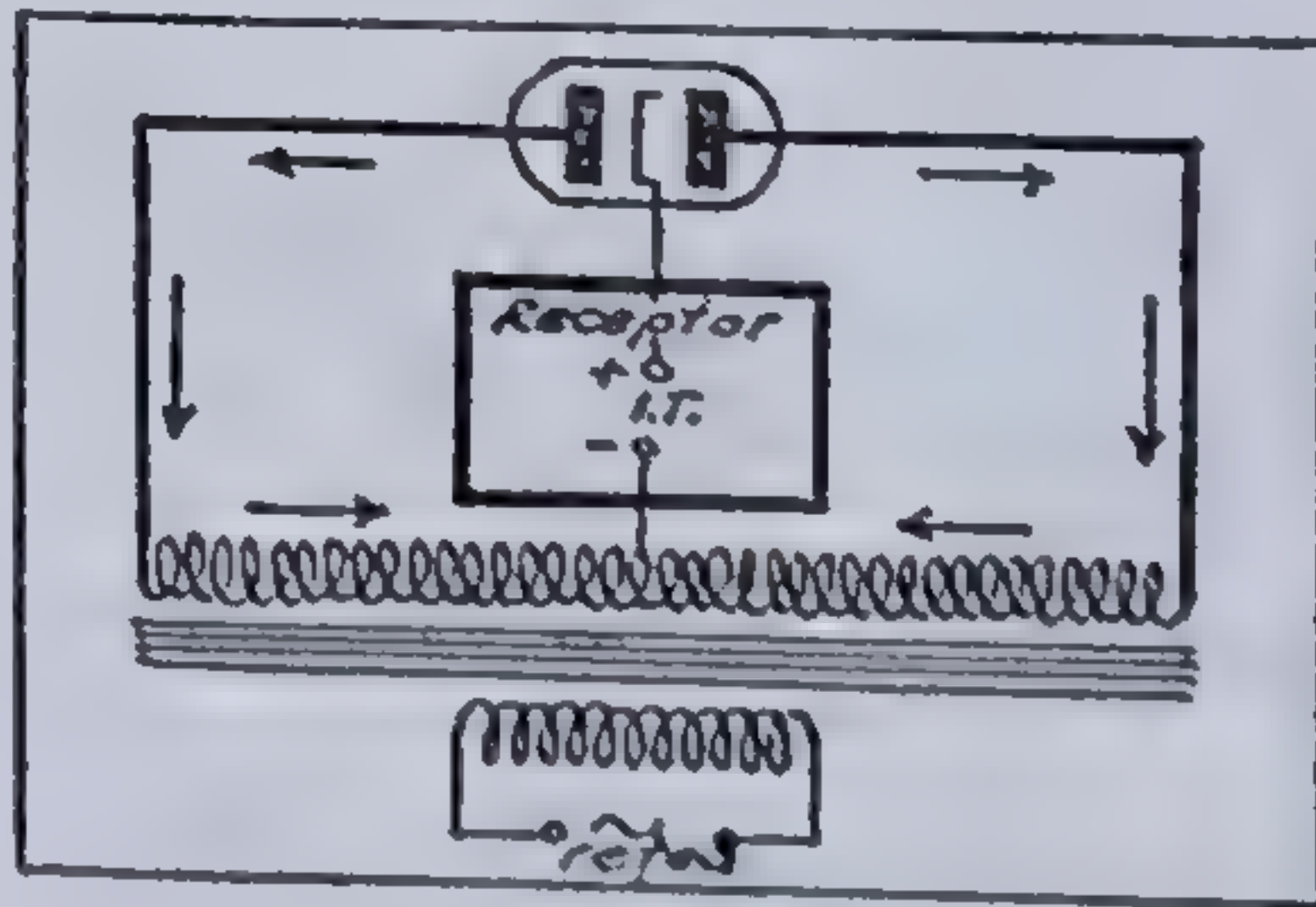
Folosind două diode, redresăm ambele alternanțe și le trimitem cu același sens la receptor.



Este oare obligatoriu să folosim două diode și două transformatoare ?

Putem utiliza un singur transformator cu priză mediană în secundar. Iar cele două diode ai căror catodi sînt, după cum vezi, legați între ei, pot fi înlocuite cu o duodiodă cu catod comun.

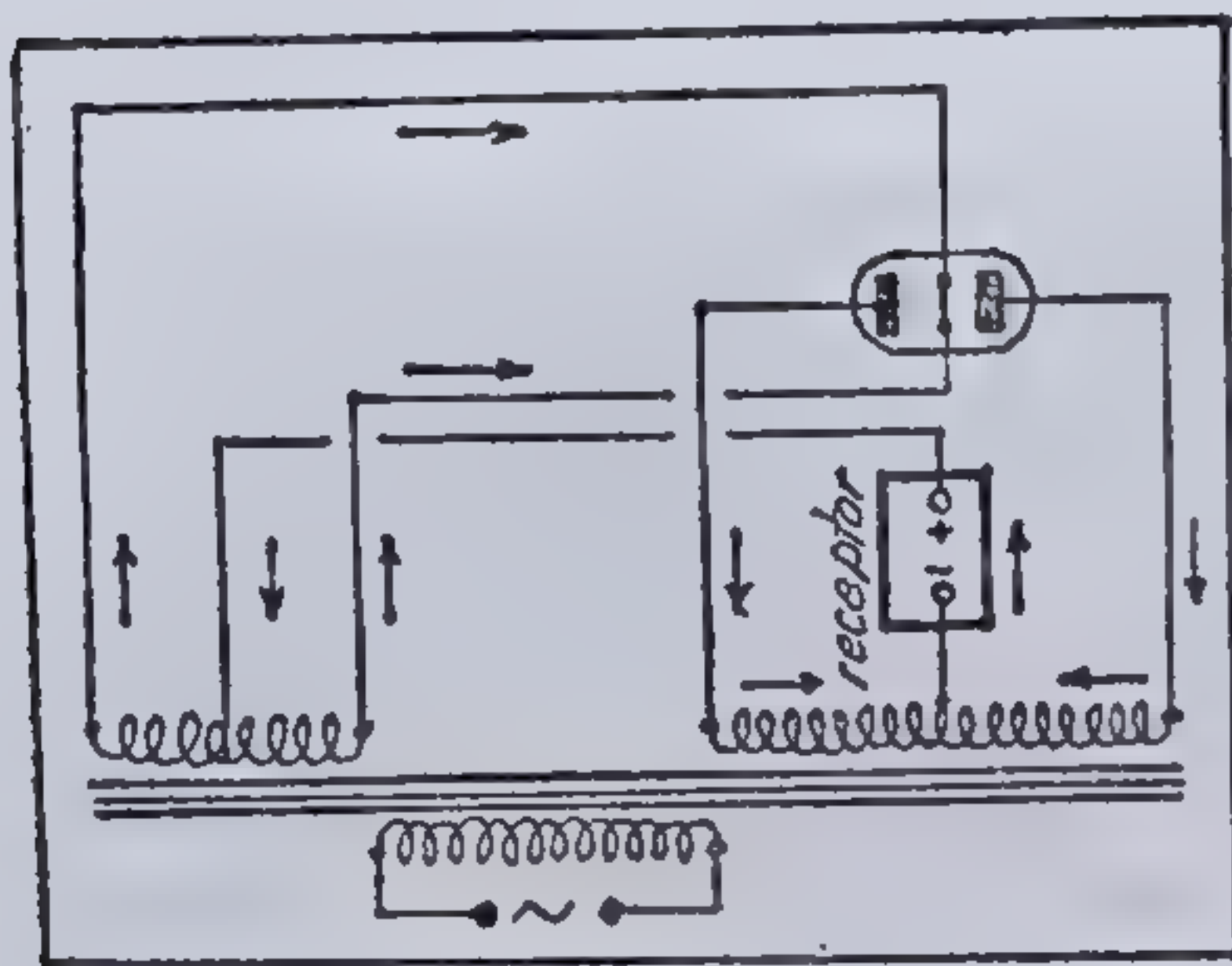
În locul celor două diode și al celor două transformatoare din schema precedentă, utilizăm o duodiodă și un transformator cu priză mediană în secundar.



Te rog să observi că în timpul fiecărei alternanțe, curentul trece numai prin jumătate din bobinajul secundar al trans-

formatorului : o dată prin partea stîngă, o dată prin partea dreaptă. Tensiunea totală pe secundar este deci de două ori mai mare decît cea pe care dorim să o obținem.

În realitate, transformatorul nostru va fi mult mai complicat, pentru că va trebui să conțină încă două bobinaje secundare : bobinajul de alimentare a filamentelor tuburilor receptorului și bobinajul pentru încălzirea catodului duodiodei redresoare.



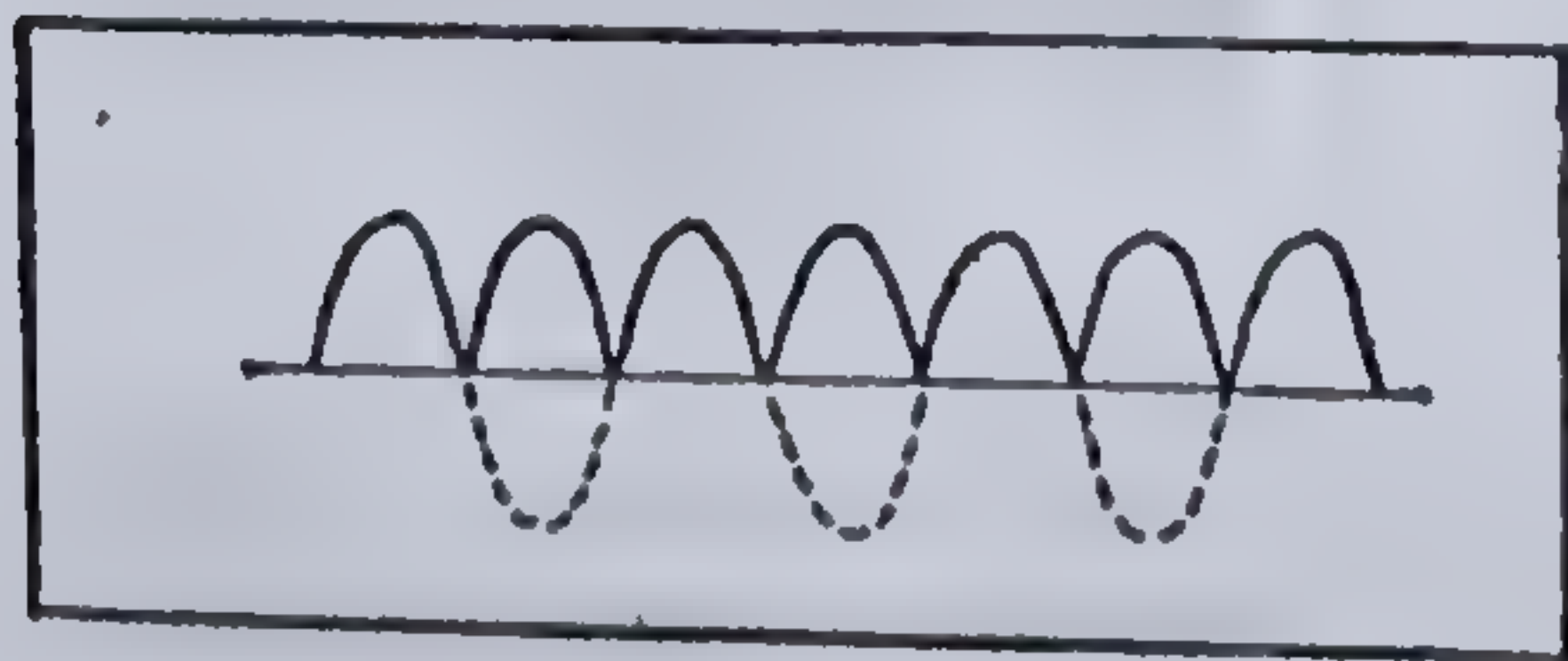
Schema de alimentare cu înaltă tensiune. Duodiodea este cu încălzire directă. Săgețile indică sensul real al curentului dresat.

Îți atrag atenția asupra faptului că se întrebuințează uneori duodiode cu încălzire directă al căror filament servește drept catod. Polul pozitiv al înaltei tensiuni se leagă la priza mediană a bobinajului de filament.

FILTRAREA ÎNALTEI TENSIUNI

Forma curentului cu două alternanțe redresate începe să se apropie de linia dreaptă orizontală a curentului continuu. Cum poate fi nivelat sau, folosind termenul uzual, cum poate fi filtrat acest curent, pentru a-l face într-adevăr continuu?

Soluția o găsim plecînd de la considerentul că el este format din două componente : una variabilă — cu două sensuri și una constantă, destul de mare pentru ca suma celor două componente să aibă un singur sens.



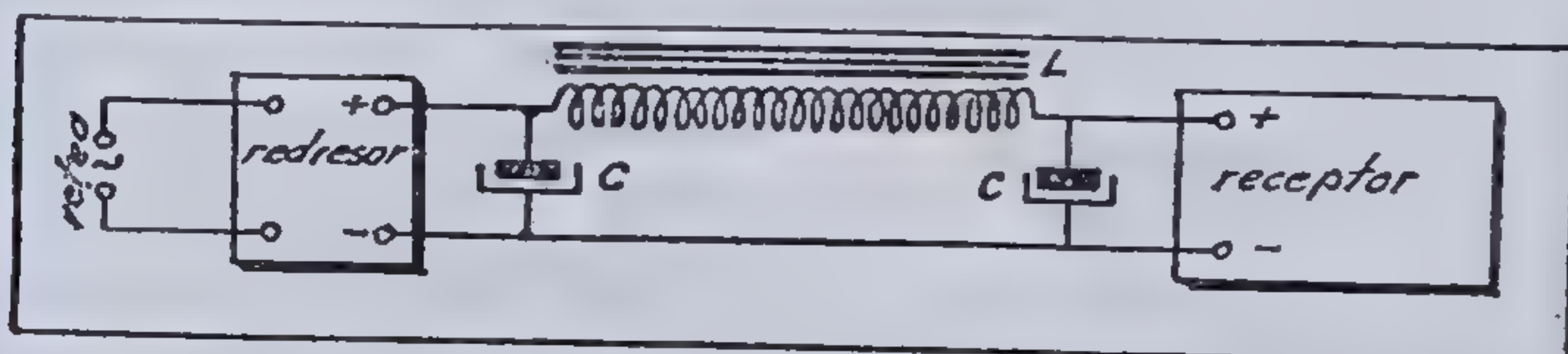
Cu linie plină este trasată forma curentului rezultat din redresarea ambelor alternanțe ; punctat sînt reprezentate alternanțele oprite de o diodă, care trec prin cealaltă diodă.

Filtrul trebuie să elimine componenta variabilă și să permită trecerea componentei continue. În calea curentului se introduce, în acest scop, o inductanță de valoare mare, reprezentată de o bobină cu miez magnetic:

Pe de altă parte, se realizează un fel de cale de scurt-circuit pentru componenta variabilă, cu ajutorul unei capacități de valoare mare, plasată între conductoarele care reprezintă polul pozitiv și polul negativ al înaltei tensiuni. Se montează două condensatoare, unul înainte de bobină și unul după bobină. Se obține astfel o *celulă de filtraj*. În unele cazuri se folosesc chiar două asemenea celule legate în serie.

CONDENSATOARELE ELECTROLITICE

Condensatoarele de filtraj trebuie să aibă, după cum ți-am spus, o capacitate mare. Se folosesc în acest scop *condensatoare electrolitice* a căror valoare poate atinge mai multe zeci de microfarazi.

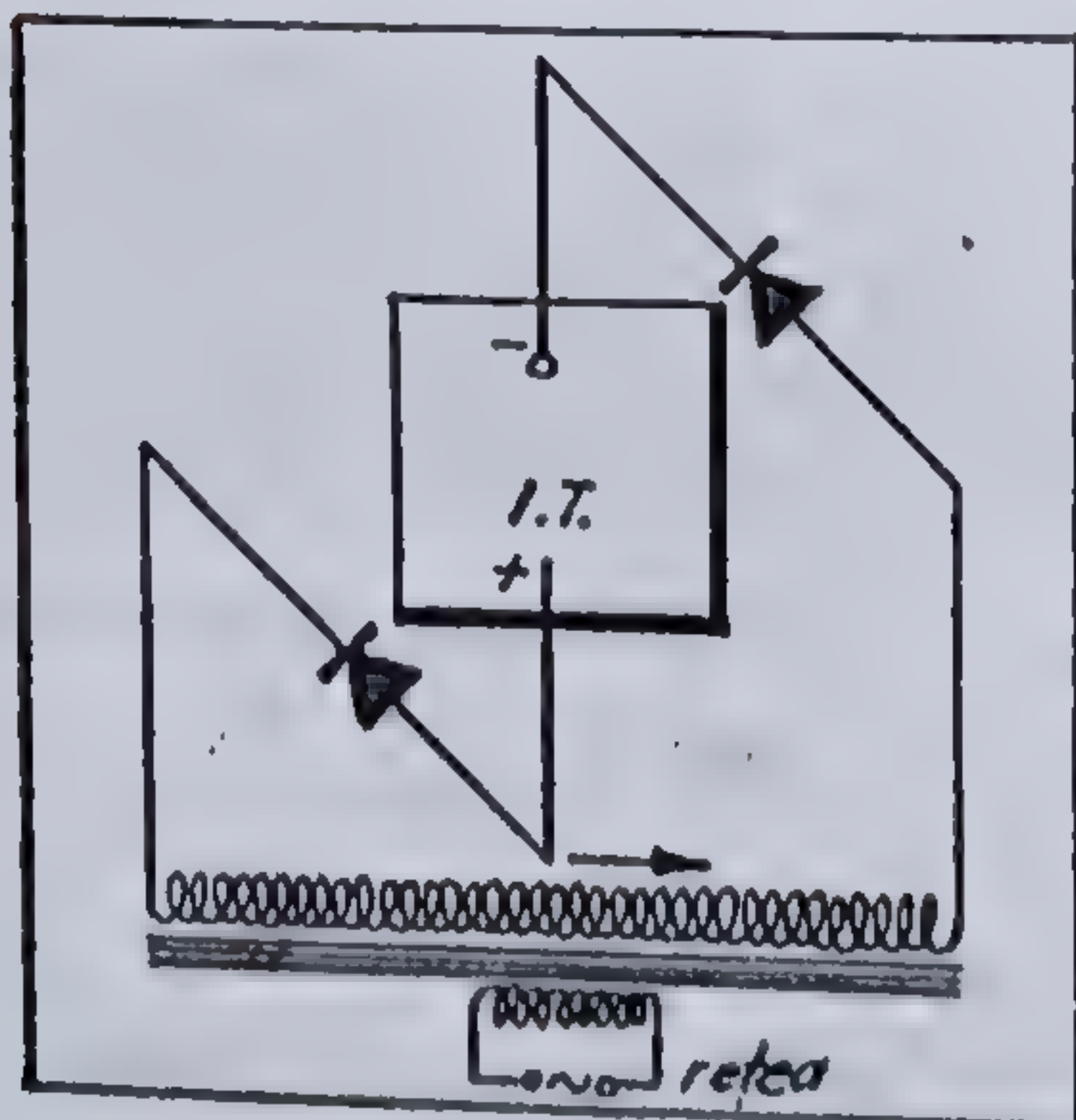
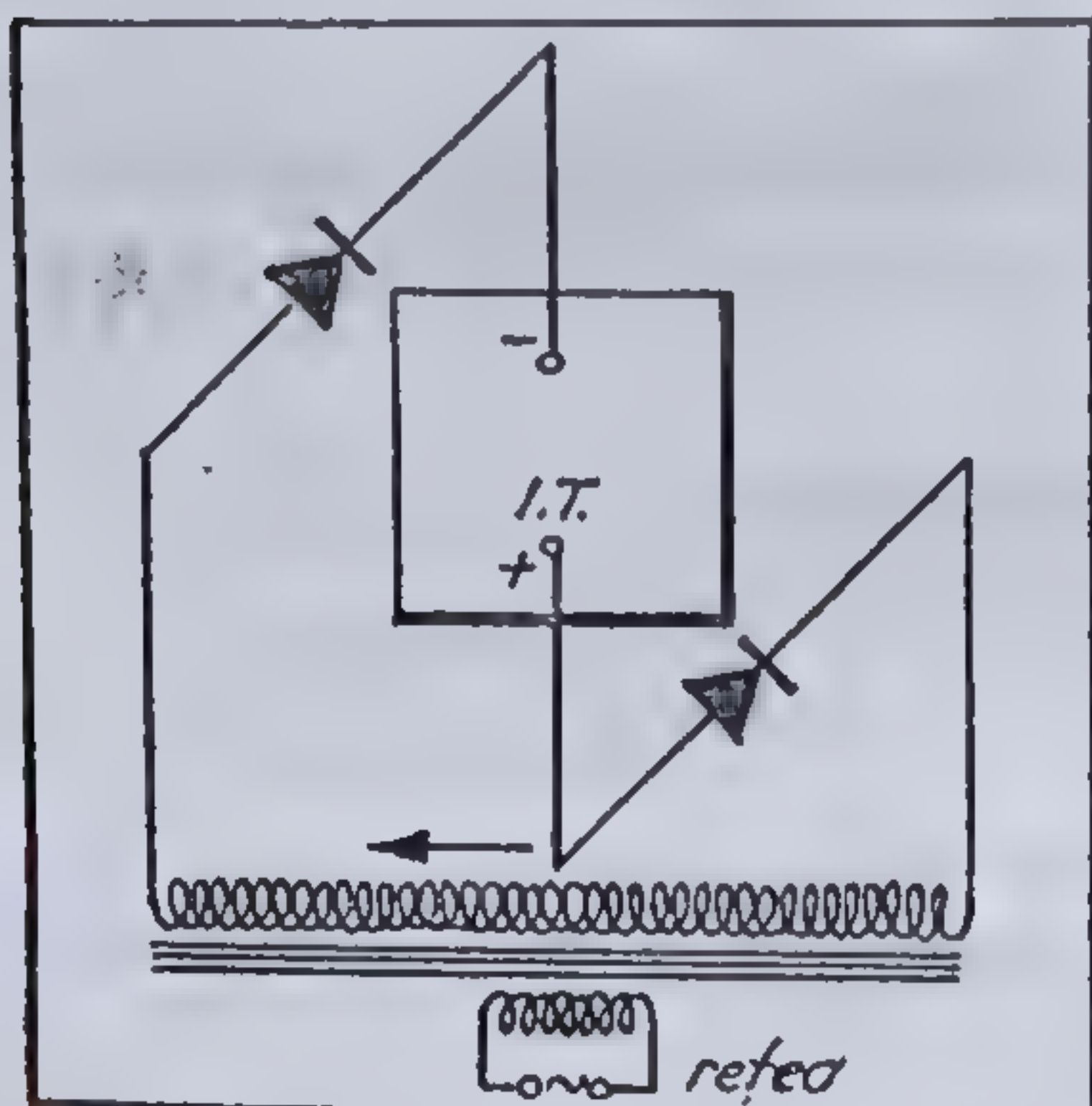
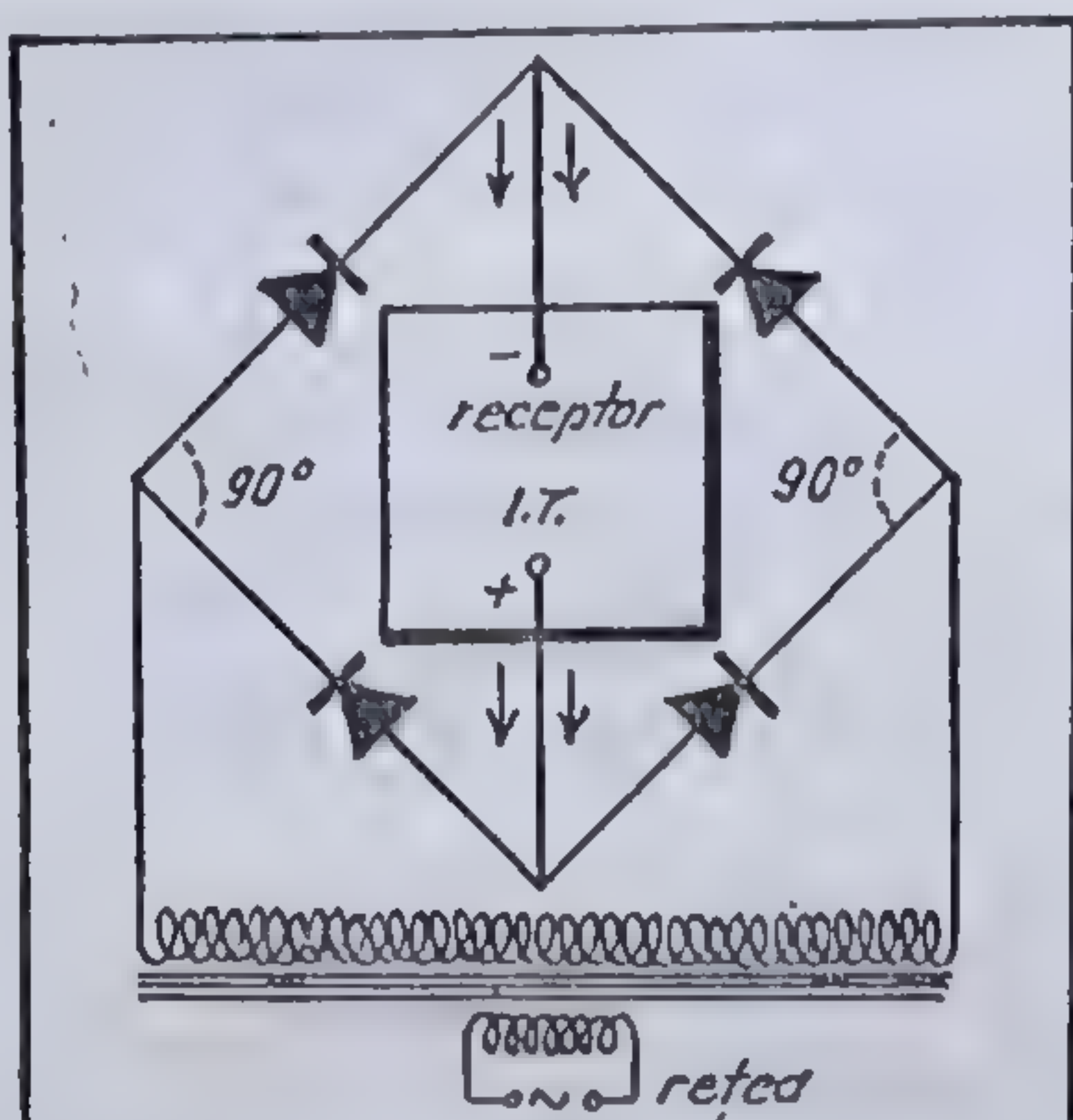


Între redresor și circuitele receptorului se introduce o celulă de filtraj compusă din două condensatoare electrolitice C și o bobină L .

Acestea sînt condensatoare la care una din armături — cea pe care se aplică potențialul pozitiv — este constituită dintr-o placă de aluminiu a cărei suprafață este mărită printr-o rețea de adîncituri. Armătura negativă este compusă dintr-un lichid conductor sau dintr-o pastă. Ansamblul este închis într-un cilindru metalic în contact cu *electrolitul* care constituie armătura negativă.

Cînd se aplică o tensiune între cele două armături, electrolitul se descompune și formează, la suprafața aluminiului, un strat subțire dintr-un oxid numit alumină. Grosimea stratului este de ordinul micronului.

Sper că n-ai uitat că la un condensator, capacitatea este invers proporțională cu grosimea dielectricului care separă cele



două armături. Înțelegi prin urmare, de ce este atât de mare capacitatea condensatorului electrolitic.

Din păcate, orice avantaj își are reversul. Grosimea extrem de mică a acestui strat de dielectric poate fi străpunsă cu ușurință de o scînteie, dacă diferența de potențial dintre cele două armături depășește o anumită valoare, precizată pentru fiecare model de condensator electrolitic.

Dacă, utilizînd un astfel de condensator, vei depăși tensiunea limită admisă, stratul de alumina va fi străbătut de scînteie, dar condensatorul nu se va distruge. Imediat ce va scădea tensiunea, stratul dielectric se va reface. Condensatoarele obișnuite nu au această calitate; în momentul în care se produce o străpungere a dielectricului solid, acesta se carbonizează și devine conductor.

Să nu uiți, Ignotus, că, spre deosebire de condensatoarele obișnuite, electroliticul este polarizat. El trebuie conectat cu atenție, legînd fiecare din cele două armături la podul corespunzător.

sus — Redresor în punte cu patru diode semiconductoare. La mijloc și jos sînt reprezentate traseele cîte una din cele două alternanțe.

REDRESOARELE SOLIDE

După ce am văzut din ce se compune o celulă de filtraaj, să revenim la problema redresării.

Ți-am arătat cum se realizează redresarea cu diode cu vid. Alături de redresoarele cu tuburi se folosesc de multă vreme și redresoarele solide cu semiconductoare. Un contact între cuprul pur și un oxid de cupru, cunoscut sub numele de *cuproxid*, reprezintă un redresor excelent. Dacă vom aplica, între aceste două materiale, o tensiune alternativă, electronii vor trece cu ușurință din spre cupru spre cuproxid, dar nu vor putea trece în sens invers.

Cu cât plăcile alăturate, confecționate din aceste două materiale, vor fi mai mari, cu atât vor putea fi redresate, cu ajutorul lor, intensități mai mari de curent.

Asemenea redresoare se montează adesea „în punte”. Puntea este constituită din patru redresoare al căror circuit este reprezentat pe schemă sub forma unui pătrat. Una din diagonalele pătratului este conectată la secundarul transformatorului de rețea, iar cea de a doua diagonală este legată la intrarea de înaltă tensiune a receptorului.

Ți-am desenat, separat, traseul curentului pentru fiecare din alternanțele unei perioade.

Să știi că, în simbolul pe care l-am desenat pentru redresor, săgeata este îndreptată în sensul de deplasare a electronilor. De obicei în scheme, săgeata este îndreptată în sens contrar, adică în sensul convențional al curentului electric, care este orientat dinspre polul pozitiv spre polul negativ.

În rezumat, electroalimentarea din rețeaua de curent alternativ nu ridică, după cum vezi, probleme complicate. Un transformator furnizează curentul de filament al tuburilor, și, eventual, curentul pentru filamentele diodelor redresoare de înaltă tensiune. Această tensiune înaltă este redresată și apoi filtrată înainte de a fi aplicată circuitelor anodice ale receptorului.

Sper că am răspuns foamei tale de cunoștințe cu privire la alimentare.

Convorbirea a 9-a

Feding și antifeding

Cum se propagă undele electromagnetice lungi, medii și scurte? Cum se produce acea variație a puterii lor pe care o resimțim la recepție și pe care o numim feding? Cum putem combate efectele fedingu-lui, astfel încât să menținem constantă intensitatea audiției în receptoare? Toate aceste chestiuni sînt examinate în convorbirea care urmează:

PROPAGAREA UNDELOR

IGNOTUS : Pînă acum, dragă prietene, tu și unchiul tău mi-ați explicat din ce sînt alcătuite și cum funcționează emițătoarele și radioreceptoarele echipate cu tuburi. Dar ce se întîmplă pe drumul dintre ele? Știu că undele radioelectrice se propagă cu viteza luminii, deci cu 300 000 de kilometri pe secundă. Nu mi-ai vorbit însă niciodată, despre traiectoria acestor unde. Faptul că putem recepționa emițătoare de unde scurte, chiar atunci cînd sînt situate la antipod față de noi, se explică cumva prin faptul că aceste unde traversează globul terestru?

CURIOSUS : Nu, Ignotus, undele nu pot străbate pămîntul. Orice corp cît de cît bun conducător de electricitate — din această categorie face parte și scoarța pămîntului — absoarbe undele, sau, în cel mai bun caz, le reflectă. Reflexia se produce atunci cînd undele ajung pe stratul conducător sub un unghi destul de mic.

Propagarea depinde foarte mult de frecvența de emisie. Undele lungi se propagă urmînd curbura pămîntului. Corpurile conducătoare întîlnite de-a lungul traseului le fac să piardă energie. Vei deduce deci singur că raza lor de acțiune e limitată.



IGNOTUS : Prin urmare, deși pot să ascult în bune condițiuni pe unde lungi stații din țările vecine, nu voi putea să aud niciodată pe aceste lungimi de undă programe din regiuni îndepărtate. În schimb, pot să recepționez, în special după miezul nopții, unde medii sosite de foarte departe. Cât despre undele scurte, le pot primi din orice parte a lumii. Probabil că traiectoriile lor sînt mai flexibile decît cele ale undelor lungi și că, din această cauză, ele pot ocoli cu ușurință jumătate din globul pămîntesc.

CURIOSUS : Ipoteza ta e greșită. Cu cît sînt mai scurte undele, cu atît e mai rectiliniu drumul lor. Gîndește-te Ignotus, la propagarea acelor unde ultra-ultrascurte care sînt undele luminoase. Putem să ne închipuim linii mai drepte decît razele de lumină ?

IGNOTUS : Atunci nu înțeleg cum putem recepționa, în pofida curburii suprafeței pămîntului, undele scurte emise chiar și de la antipozi. Dacă s-ar propaga într-adevăr în linie dreaptă, aceste unde ar trebui să se piardă în spațiul extraterestru.



IN JURUL PĂMÎNTULUI ȘI ÎN COSMOS

CURIOSUS : Este adevărat că există unde care pătrund în spațiul cosmic. Cu ajutorul lor se stabilesc legăturile cu cosmonauții în timpul zborului navelor spațiale, în timpul plimbărilor pe lună sau pe o altă planetă, mai mult sau mai puțin îndepărtată.

Dar să revenim pe pămînt, așa cum fac dealtfel și undele radioelectrice. Ele se întorc pentru că la altitudinea de 100 pînă la 125 km. sînt reflectate de un strat al atmosferei, care este bun conducător de electricitate. Acest strat este numit — după numele celor doi savanți care i-au descoperit primii existența — „stratul Kenelly — Heaviside“.

De fapt, este vorba de un strat, cunoscut sub numele de *ionosferă*, compus din aer ionizat sub acțiunea razelor ultraviolete ale soarelui. Îți amintești desigur că o substanță ionizată devine bună conducătoare de electricitate.

IGNOTUS : Deci, undele medii și scurte revin spre suprafața pămîntului după ce sînt reflectate de ionosferă. În aceste condiții, nu văd cum se pot realiza comunicațiile cosmice de care vorbeai.

CURIOSUS : Totul depinde de valoarea unghiului sub care este atacată ionosfera de o undă. Dacă unghiul depășește o anumită valoare, undele pătrund în ionosferă, o străbat și se



propagă apoi cu ușurință în vidul cosmic. Dacă, în schimb, unghiul este mai mic decât o valoare limită, unda este reflectată spre pământ.

IGNOTUS : Și, ajunsă aici, este absorbită probabil de suprafața pământului ?

CURIOSUS : Nu e obligatoriu. În funcție de unghiul dintre direcția undelor și suprafața terestră, pământul poate reflecta la rindul lui undele. Prin urmare, undele pot face mai multe drumuri dus și întors între ionosferă și pământ și deci au posibilitatea să ajungă foarte departe sau chiar să ocolească globul pământesc.

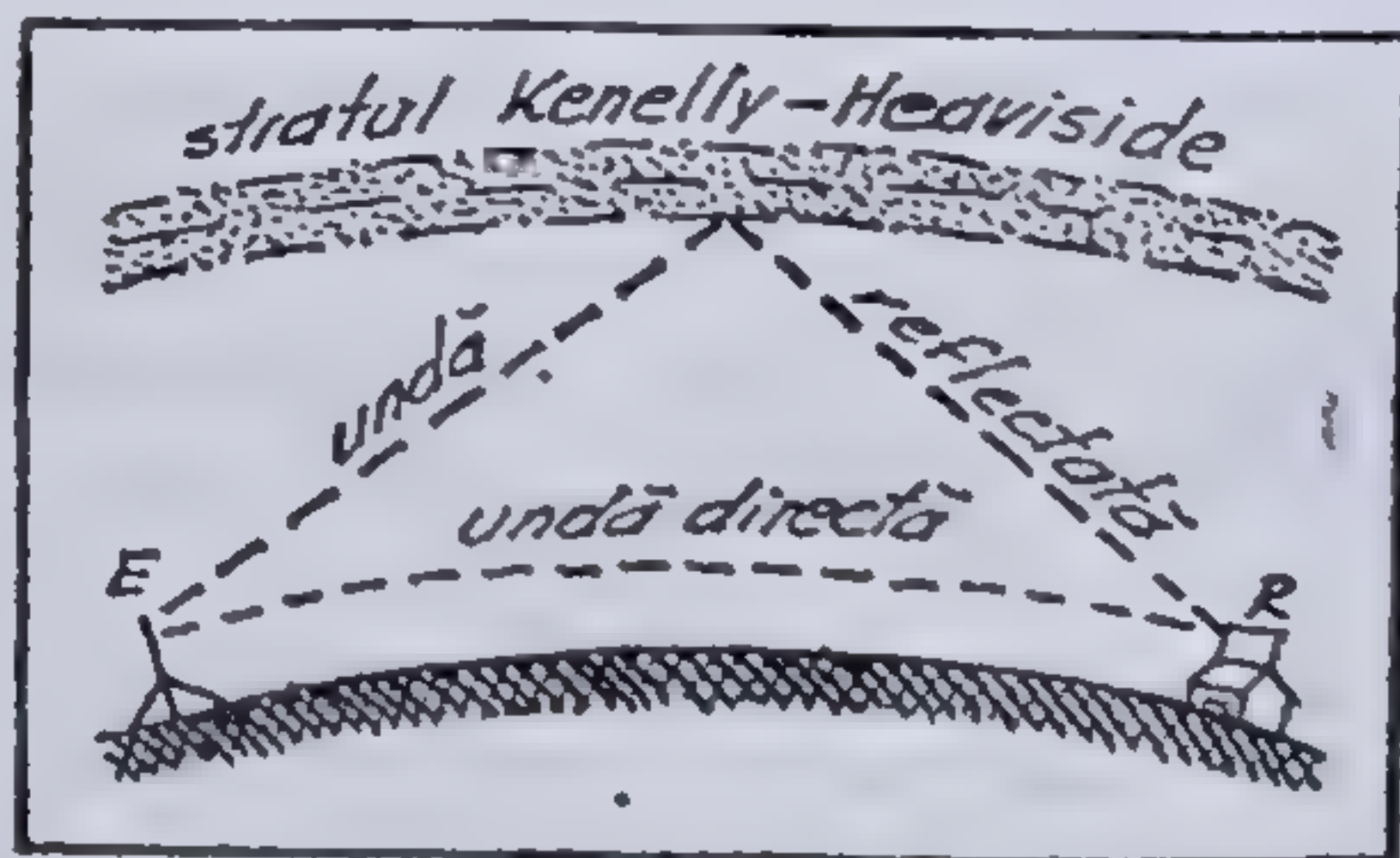
IGNOTUS : Acum înțeleg cum se recepționează emisiunile care sosesc de la distanțe foarte mari. Totuși, intensitatea audierii are uneori fluctuații. Acest lucru se întâmplă pentru că undele nu sînt perfect reflectate de ionosferă ?

CURIOSUS : Aceste variații de intensitate poartă numele de *feeding*, ceea ce în limba engleză înseamnă „disparație”. Fedingul se produce pentru că se recepționează simultan mai multe unde care vin pe trasee diferite, de la același emițător.

Așa se întâmplă, de exemplu, atunci cînd se recepționează o undă directă și una reflectată, caz întâlnit frecvent în domeniul undelor medii. Dacă puterea emițătorului este destul de mare, aceste unde reușesc să ocolească o bună parte din suprafața pământului.

Într-o anumită poziție recepționăm deci în același timp, atît unda directă cît și unda reflectată de ionosferă. Distanța străbătută de ele nu e aceeași ; unda reflectată are de parcurs un drum mult mai lung decât unda directă.

Undele pot ajunge de la emițătorul E la receptorul R pe două trasee : direct sau după ce sînt reflectate de stratul de aer ionizat Kenelly — Heaviside, în zonele înalte ale atmosferei.



IGNOTUS : Iartă-mă că te întrerup, dar cred că acum înțeleg cauzele *feeding*ului.

Cînd două unde ajung cu aceeași fază la antena de recepție, totul e în ordine. Curenții induși de ele se adună și recepția e bună.

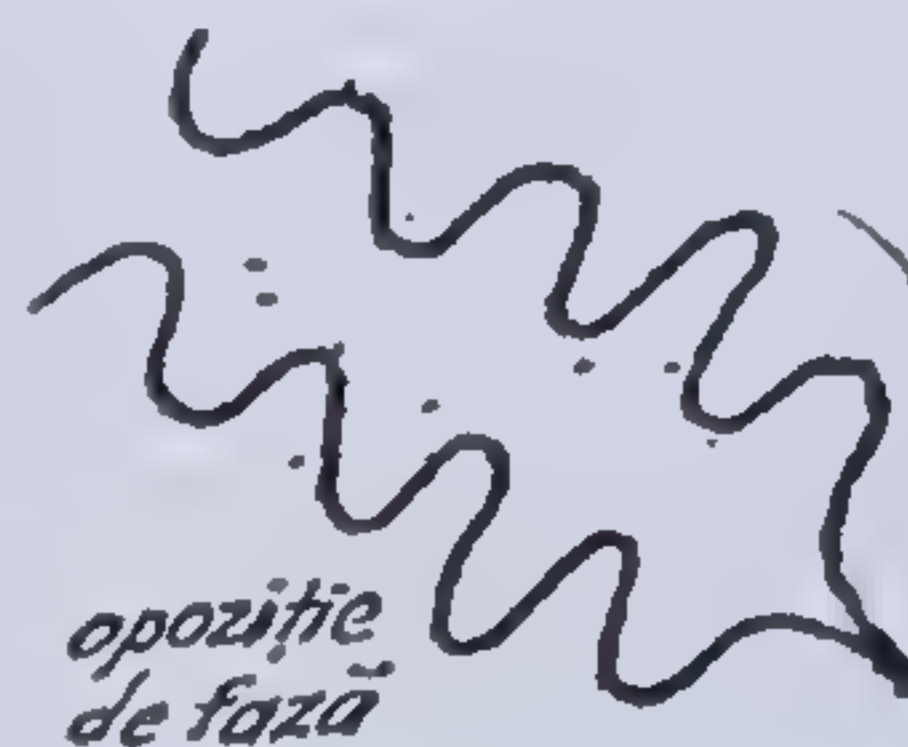
Dacă însă, unda directă și unda reflectată nu sînt în fază, curenții induși de ele în antenă se deranjează reciproc, iar dacă

sînt exact în opoziție de fază, undele tind să se anuleze. Aceasta trebuie să fie cauza fedingului, nu ?

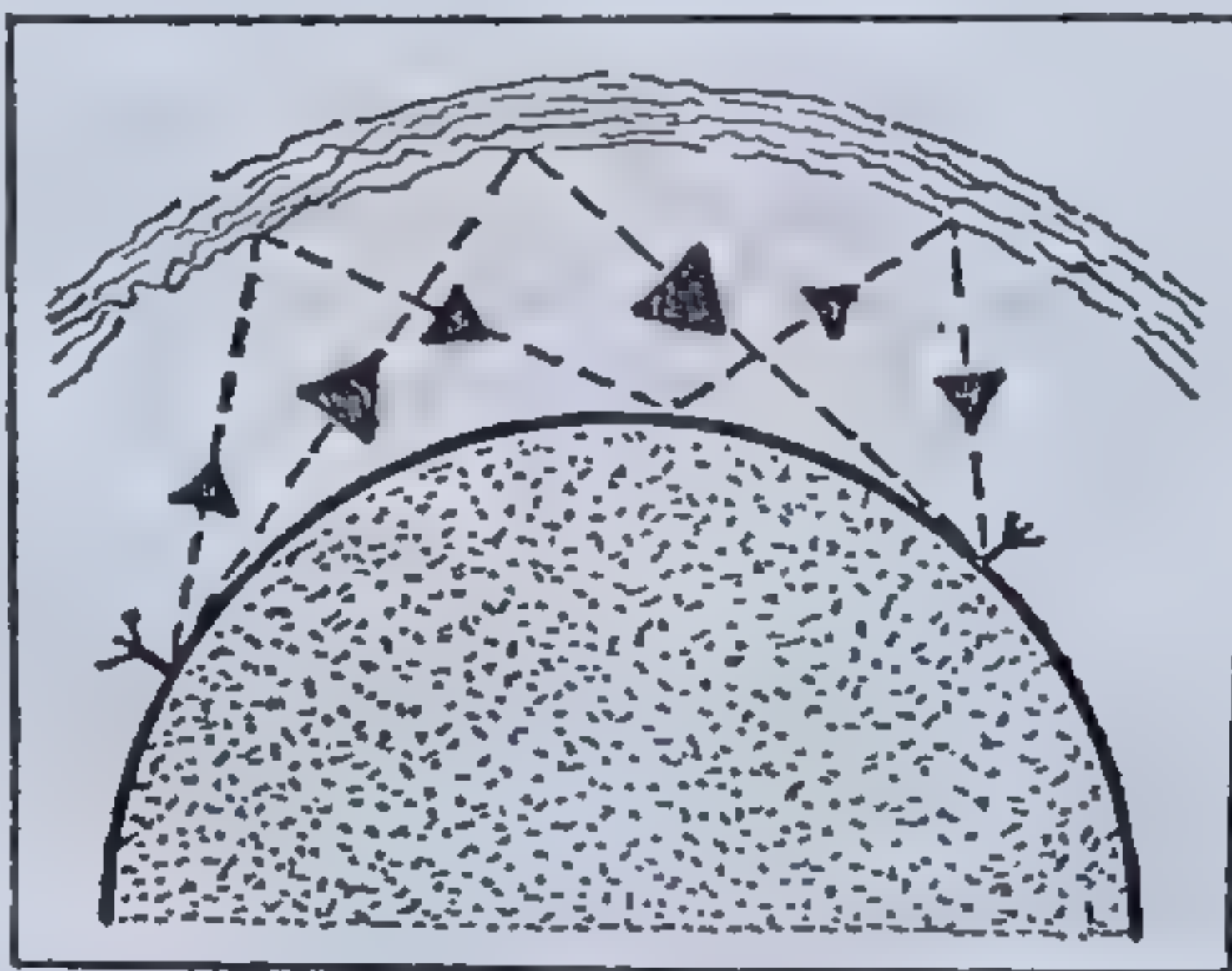
CURIOSUS : Deducția ta e perfectă.

IGNOTUS : Și totuși nu-mi dau seama cum se produce fedingul pentru semnalele provenite de la emițătoarele de unde scurte foarte depărtate. Mi-ai spus că aceste unde nu pot să ocolească globul terestru. În aceste condiții, nu recepționăm decît unda reflectată. M-am gîndit mult, dar n-am reușit să înțeleg cine produce fedingul în acest caz.

CURIOSUS : E foarte simplu : imaginează-ți că am recepționa în același timp două unde reflectate de un număr diferit de ori, între atmosferă și pămînt.



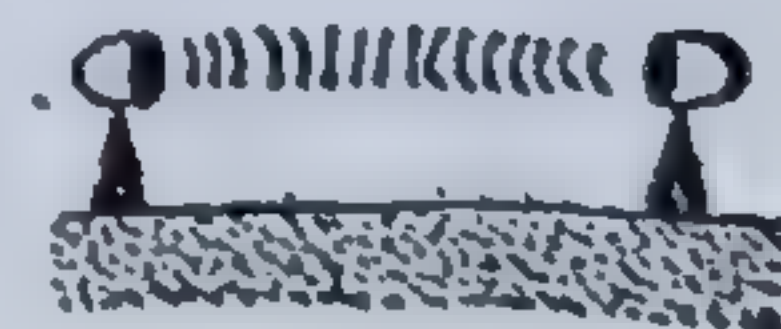
Recepție simultană a două unde so- site de la același emițător și reflec- tate de un număr diferit de ori de ionosferă (în figură odată și de două ori).



IGNOTUS : Am înțeles. Dar cum se explică fluctuațiile fe- dingului ? Se schimbă cumva traseele undelor reflectate ?

CURIOSUS : Și încă cum ! Nu trebuie să-ți închipui io- nosfera ca o oglindă rigidă. Ea oscilează, se ondulează, înălțimea ei depinde de direcția razelor soarelui, suprafața ei e foarte neregulată.

Iată de ce variază, mai mult sau mai puțin rapid, defazajul undelor recepționate simultan.



PRINCIPIUL ANTIFEDINGULUI

IGNOTUS : Mă întreb dacă n-am putea evita acest efect neplăcut, utilizînd o recepție suficient de directivă, în așa fel încît să captăm numai un singur tren de unde.

CURIOSUS : Evident, acest lucru e posibil. Pentru a realiza legături stabile între două puncte al globului terestru, se folo- sesc, atît la emisie, cît și la recepție, antene directive.

În radiodifuziune însă, această metodă nu este de loc potrivită. Pentru ca emisiunile să poată fi recepționate de cât mai mulți oameni, antena care le emite nu trebuie să fie orientată într-un singur sens. La fel, pentru ca la recepție să putem trece cu ușurință de pe un program pe altul, nici antena receptorului nu trebuie să fie directivă.

IGNOTUS : Prin urmare, trebuie să suportăm variațiile fedingului fără să putem face nimic ?

CURIOSUS : Liniștește-te Ignotus. Toate receptoarele sînt înzestrate cu un regulator antifeding care permite să se evite acțiunea fedingului asupra intensității sunetului în difuzor.

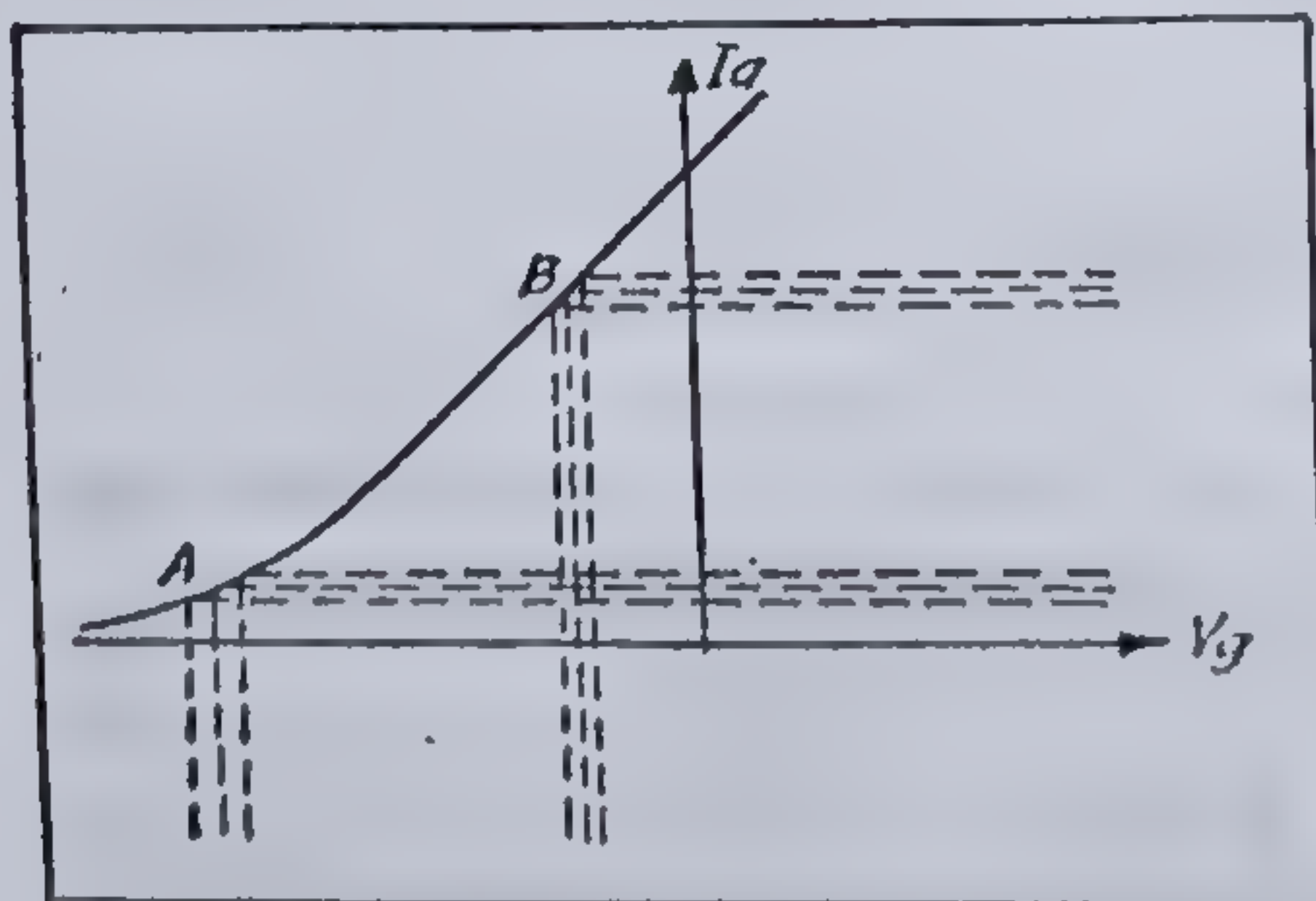
În acest scop, un montaj destul de simplu modifică automat sensibilitatea receptorului, reducînd-o cînd crește puterea undelor recepționate și mărimd-o cînd fedingul atenuază undele.

IGNOTUS : Trebuie să înțeleg că acest dispozitiv acționează asupra tuburilor amplificatoarelor de I.F. și de F.I. de care depinde sensibilitatea receptoarelor și că — dacă lucrurile stau așa — acțiunea lui se exercită asupra uneia din caracteristicile acestor tuburi ?

CURIOSUS : La ambele întrebări răspunsul este afirmativ. Da, acționăm asupra amplificării acestor tuburi, iar valoarea amplificării depinde în primul rînd de pantă. Acesta este motivul pentru care se folosesc tuburile cu pantă variabilă în regulatoarele antifeding.

PANTA VARIABILĂ

IGNOTUS : Cum poate să varieze panta ? Doar mi-ai explicat că grila se polarizează în așa fel, încît punctul de funcționare al tuburilor să se afle în partea rectilinie a curbei, care reprezintă variațiile curentului anodic în funcție de potențialul



Datorită pantei variabile, amplitudinile diferite, aplicate pe grilă, permit să se obțină pe anod amplitudini egale. În acest scop se modifică potențialul, aplicat pe grilă.

grilei. Și am reținut că, atunci cînd punctul de funcționare e situat în cotul inferior al curbei, tubul nu amplifică ci detectează.

CURIOSUS : Toate acestea sînt exacte, dragul meu, atunci cînd este vorba de tuburile caracterizate prin acea curbă lină de care vorbeai. Dar pentru a realiza antifedinguri, folosim tuburi cu pantă variabilă. Curba este... curbă. Te rog să observi că pe măsură ce potențialul punctului de funcționare devine mai puțin negativ, panta crește. În punctul B ea este mai mare decît în punctul A.

Curbura este totuși foarte lină, astfel încît în orice parte a ei, o mică porțiune a acestei curbe poate fi asimilată cu un segment de dreaptă. Prin urmare nu există deloc pericolul ca variațiile curentului anodic să fie distorsionate, cîtă vreme oscilațiile potențialului V_g al grilei au amplitudine mică !

IGNOTUS : Așa e ! Am înțeles cum se petrec lucrurile cu ajutorul desenului pe care mi l-ai arătat.

În punctul A unde panta este mică, se aplică oscilații de amplitudine mai mare decît în punctul B, unde panta este mai mare. Aceste două oscilații ale potențialului grilei produc variații de amplitudine egale ale curentului anodic.

Presupun deci, că putem să aranjăm ca punctul de funcționare să se deplaseze în funcție de valoarea semnalului la intrarea în receptor. Cu cît e mai slab semnalul, cu atît se deplasează către dreapta punctul de funcționare, pentru a asigura, printr-o pantă mai mare o amplificare mai bună.

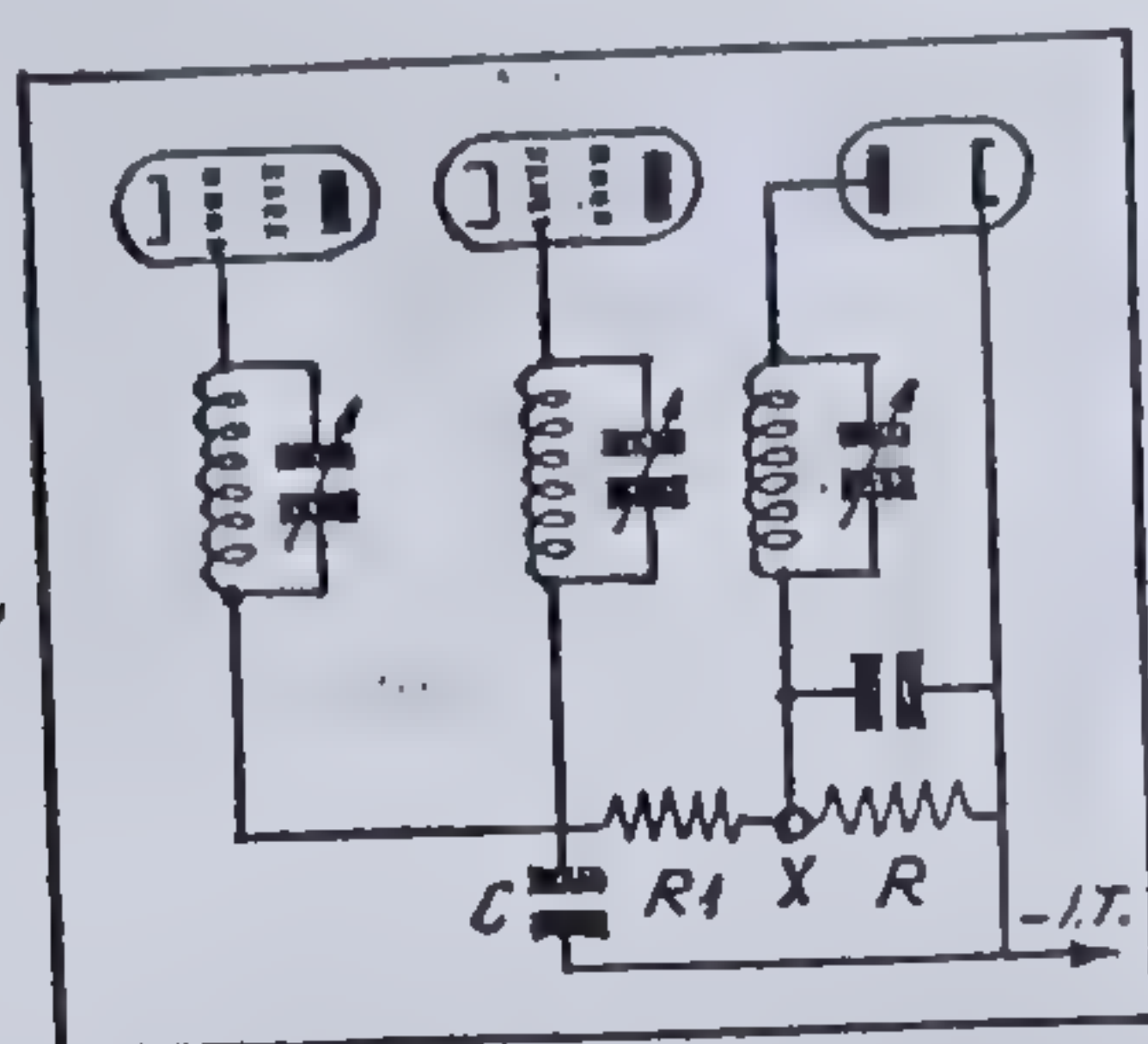
CURIOSUS : Chiar așa se petrec lucrurile în tuburile cu pantă variabilă.

IGNOTUS : Deci, cu cît sînt mai puternice semnalele recepționate, cu atît trebuie să fie mai negativate grilele tuburilor de I.F. și de F.I. Dar cum se obține acest rezultat în sistemele antifeding ?

TENSIUNEA DE REGLAJ ANTIFEDING

CURIOSUS : Foarte simplu : se utilizează în acest scop tensiunea obținută după detecție. Această tensiune, proporțională cu amplitudinea semnalului captat de antenă, se extrage din punctul X, de la extremitatea negativă a rezistenței R, care este străbătută de curentul detectat și se aplică apoi pe grilele tuburilor care preced detecția.

IGNOTUS : Dar bine, dragul meu Curiosus, ceea ce faci tu e o nebunie ! În punctul X, tensiunea detectată este o tensiune de A.F. Nu vei reuși să obții decît o reacție, aș zice chiar o



Tensiunea antifeding extrasă din punctul x al circuitului de detecție este aplicată pe grilele celor două tuburi amplificatoare de IF, după ce este filtrată prin R_1 și prin C .

reacție negativă dacă aplici o tensiune de AF pe grilele tuburilor care preced detecția.

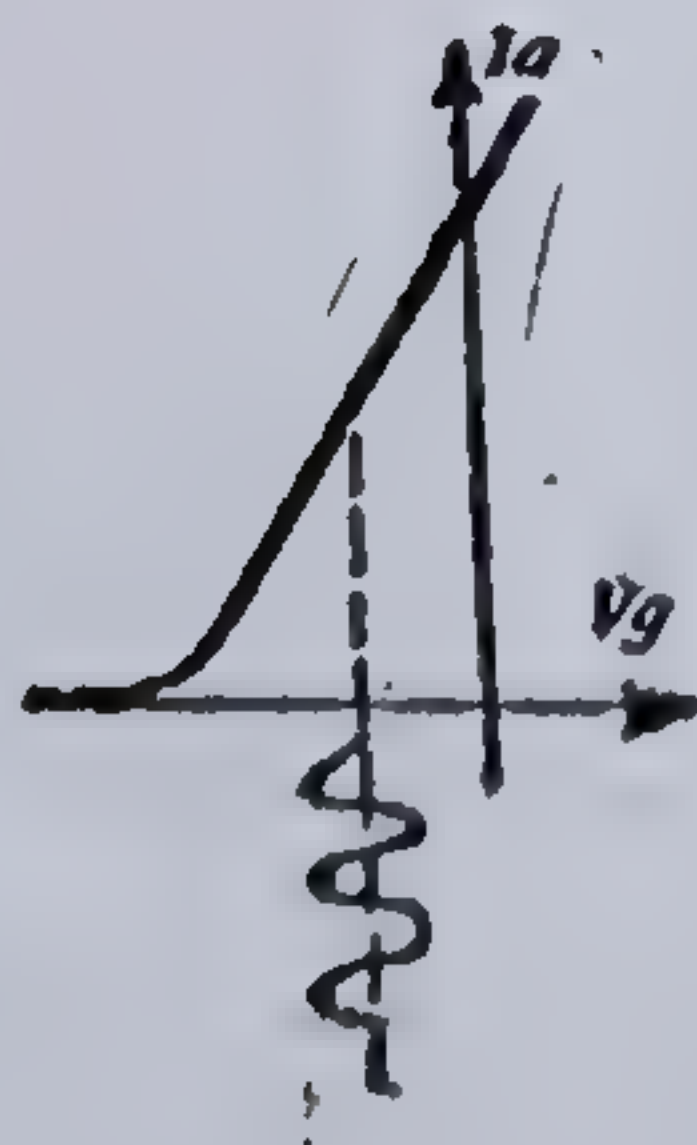
CURIOSUS : Liniștește-te Ignotus. Această tensiune nu se aplică direct pe grile. Ea trece întâi printr-o rezistență R_1 de valoare mare, care se opune trecerii variațiilor mai mult sau mai puțin rapide. Variațiile care reușesc totuși să o străbată se înapoiază la catodul diodei detectoare datorită capacității mari a condensatorului C .

IGNOTUS : Acest ansamblu R_1C îmi amintește de celulele de filtraj. Am început să înțeleg : pe grilele tuburilor cu pantă variabilă nu se aplică oscilațiile de A.F. ci doar un potențial negativ care variază în funcție de feding. Cu cât sînt mai puternice semnalele recepționate, cu atât devine mai negativ potențialul pe grilele tuburilor cu pantă variabilă, reducîndu-se astfel sensibilitatea receptorului. În acest fel, intensitatea sunetului se menține normală, în pofida fedingului.

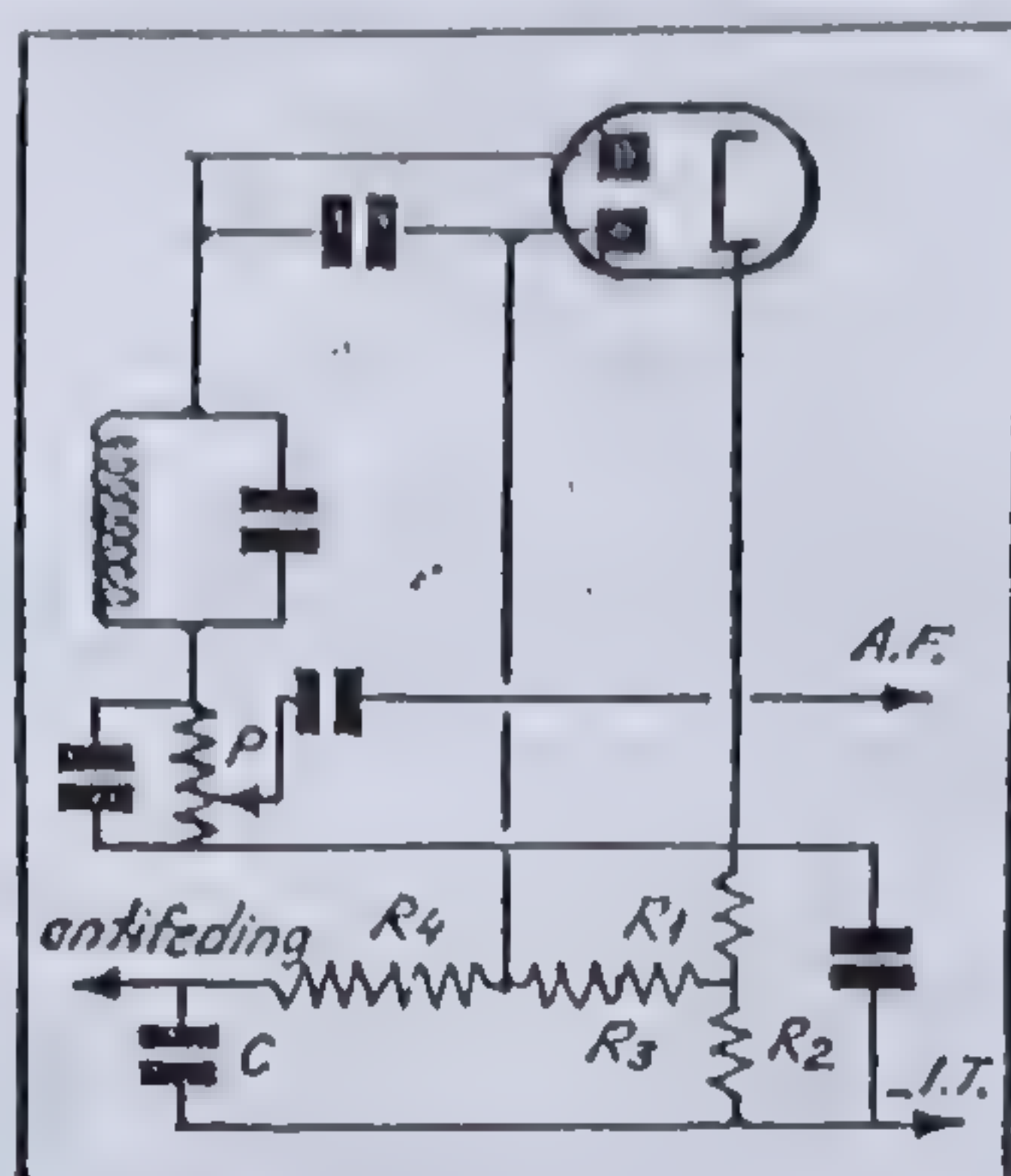
ANTIFEDING ÎNTÎRZIAT

CURIOSUS : Văd că ai înțeles principiul antifedingului. Voi adăuga că în acest scop se folosesc adesea tuburi care conțin două diode cu catod comun. Unul servește pentru detecție și produce tensiunea care se aplică amplificatorului de A.F. iar din cel de al doilea detector se obține tensiunea antifeding care se trimite la amplificatoarele de I.F. și F.I.

Această separare de funcțiuni permite să se realizeze un *antifeding întîrziat* în care reglarea începe să se producă numai dacă intensitatea semnalului recepționat depășește o anumită valoare. Deci, dacă această intensitate nu este prea mare, nu se produce o reducere a sensibilității. În absența tensiunii



Utilizarea unei duodiode permite separarea funcțiilor de detecție AF și de antifeding, obținându-se astfel antifedingul întârziat care mărește sensibilitatea receptorului.



antifeding, receptorul își păstrează sensibilitatea maximă. Antifedingul întârziat se obține polarizând, cu ajutorul unei tensiuni negative, anodul diodei care produce tensiunea de reglaj antifeding.

REGLAREA MANUALĂ A INTENSITĂȚII AUDIȚIEI

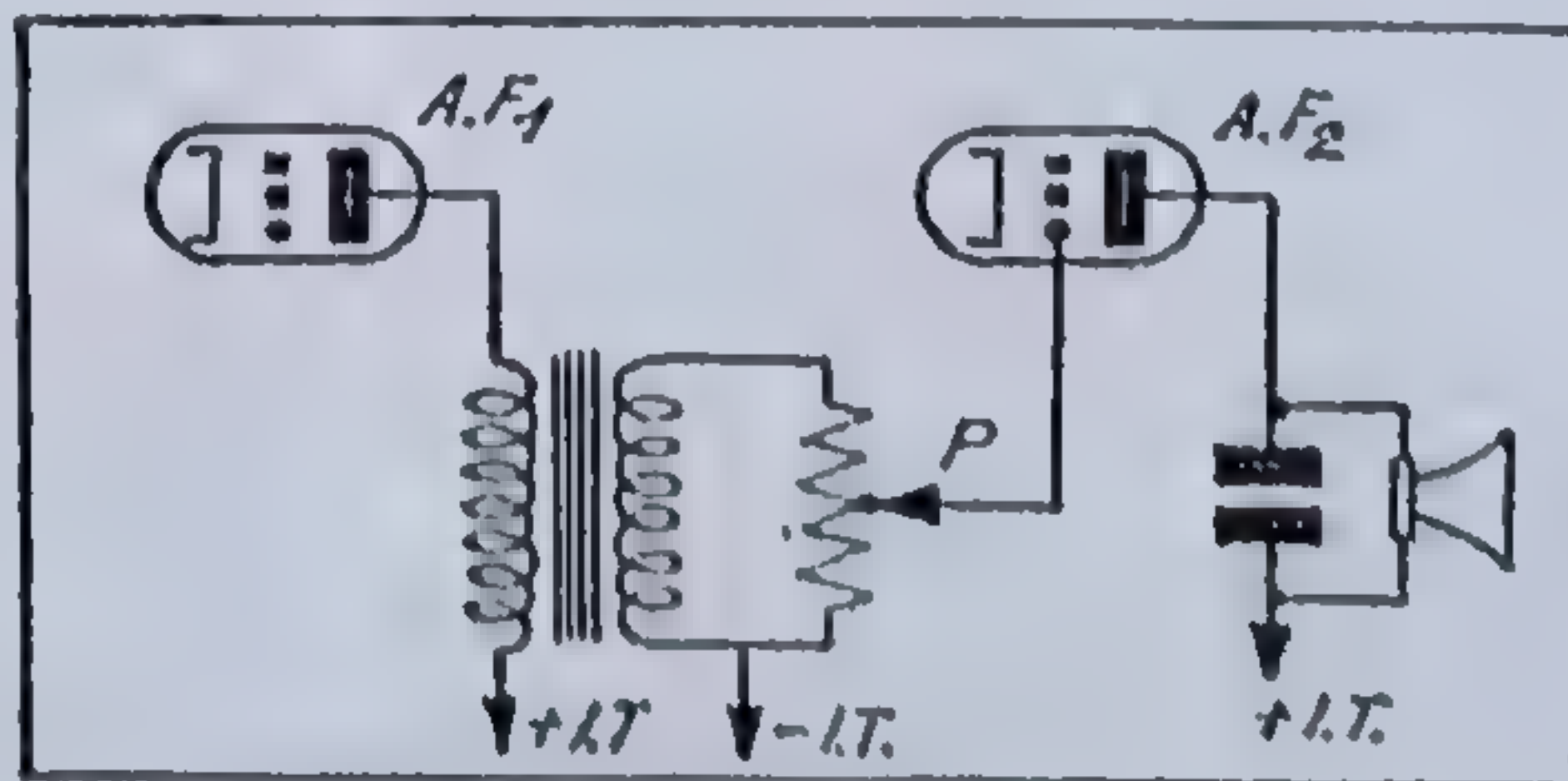
IGNOTUS : Mi-ai explicat diferitele aspecte ale reglajului antifeding, cel care face ca intensitatea audii să nu fie influențată de fluctuațiile semnalului la intrarea în receptor.

Vreau să te mai întreb ceva. Cum se realizează reglarea volumului sonor atunci când nu vrei să-ți deranjezi vecinii sau când — dimpotrivă — vrei să-i împiedici să doarmă ?

CURIOSUS : Acest reglaj se face după detecție, cu ajutorul unui potențiomtru care permite să se trimită la etajul următor de A.F., o parte mai mică sau mai mare din tensiune.



Cu ajutorul potențiometrului P se reglează intensitatea audii în receptor.



În schema pe care ți-am desenat-o ca să-ți explic antifedingul întârziat, ai remarcat un potențiomtru P conectat în circuitul de detecție.

Potențiometrul poate fi plasat și între primul și al doilea etaj de A.F.

IGNOTUS : Observ cu plăcere că reglarea receptoarelor se face foarte ușor : acordul, volumul sonor... cele două mâini pe care le avem ajung cu prisosință.

Profesorul Radiol vorbește despre :

Semiconductoare

În acest scop el reamintește mai întâi bazele fizice ale electricității și structura corpurilor conducătoare, semiconductoare și izolatoare, conform celor expuse în primul său monolog, pe care v-am ruga să-l recitiți. După aceea el explică caracteristicile semiconductoarelor de tip n și p și studiază comportarea joncțiunii lor în funcție de polaritatea și de valoarea tensiunilor aplicate acestora.

Până acum, dragii mei prieteni, ați studiat aproape complet diversele montaje echipate cu tuburi electronice. Singura problemă pe care nu ați examinat-o încă, este aceea a modulației de frecvență. Părerea mea este să o studiem mai târziu.

Este însă timpul, ca imediat să abordăm marele domeniu al materialelor semiconductoare, domeniu de care aparțin tranzistoarele, dispozitive care de la mijlocul secolului nostru înlocuiesc avantajos tuburile electronice cu vid.

AVANTAJELE SEMICONDUCTOARELOR

Superioritatea lor constă, în primul rând, în aceea că aceste dispozitive se mulțumesc cu tensiuni mult mai mici decât cele necesare tuburilor electronice. Anodul acestora necesită tensiuni de ordinul sutelor de volți sau chiar mai mari... În ceea ce privește tranzistorul, acesta se mulțumește cu o tensiune mai mică de 10 volți pe care i-o poate furniza o mică baterie.

Ceea ce este însă mult mai important, este faptul că tranzistorul nu are nevoie de curent de încălzire, ca în cazul tuburilor electronice și care prin aceasta, disipă o cantitate considerabilă de calorii, situație ce duce adesea la defectiuni din cauza altor componente, care suportă greu încălzirea excesivă.

În comparație cu tuburile electronice, semiconductoarele se disting de primele, prin enorma lor *fiabilitate* (siguranță) : durata lor de viață este practic infinită, cu excepția montării sau utilizării lor greșite. Semiconductoarele nu se defectează nici odată. Știți de asemenea, că tuburile electronice îmbătrânesc și mor, după o anumită durată de funcționare.

În afară de cele arătate mai sus, tranzistoarele sînt mult mai puțin lacome decît tuburile electronice : ele se mulțumesc cu o putere de sute de ori inferioară celei consumate de tuburi.

În sfîrșit, utilizarea semiconductoarelor a orientat însăși electronica spre miniaturizare și chiar, ași putea spune către microminiaturizarea acesteia. De fapt, volumul tranzistoarelor și a celorlalte dispozitive semiconductoare poate fi făcut foarte mic. Mai mult decît atîta : astăzi se realizează circuite integrate, circuite care cuprind mai multe dispozitive semiconductoare la un loc cu rezistențele și condensatoarele respective, toate aceste componente avînd dimensiuni microscopice.

CONDUCTOARE, IZOLATOARE ȘI SEMICONDUCTOARE

Despre microelectronică vom vorbi mai tîrziu. Ceea ce aș vrea să vă explic astăzi, sînt noțiunile de bază asupra semiconductoarelor. Sper, Ignotus, că nu ai uitat nimic din cele ce v-am explicat cu privire la structura materiei.

Vă reamintesc că un atom este neutru din punct de vedere electric, numai atunci cînd posedă un număr de electroni egal cu cel al protonilor. Dacă numărul de electroni este superior protonilor, atomul este un ion negativ. În caz contrar, cînd numărul electronilor este inferior numărului protonilor, atomul este un ion pozitiv.

Numai electronii plasați pe orbita exterioară a atomului se pot elibera și trece pe orbita exterioară a unui alt atom. Dacă un atom conține pe orbită exterioară mai puțin de 4 electroni, aceștia pot să-l părăsească și deci pot fi atrași către alți atomi încărcăți pozitiv. În consecință, elementele ai căror atomi posedă pe orbita exterioară, mai puțin de 4 electroni, sînt corpuri conductoare. Tocmai acești electroni eliberați, care au posibilitatea să se deplaseze, compun curentul electric. De îndată ce un electron părăsește un atom neutru, acesta devine ionizat pozitiv.

Dacă orbita exterioară a unui atom conține mai mult de 4 electroni, aceștia refuză cu încăpăținare să-l părăsească. Un astfel de element nu conține electroni liberi și este deci un izolator.

În sfârșit, există elemente, ca siliciul sau germaniul, care posedă pe orbita exterioară 4 atomi. Acestea nu sînt nici conductoare nici izolatoare, sînt însă acele substanțe denumite *semiconductoare*.

Această denumire este foarte bine justificată prin rezistivitatea lor. Vă reamintesc că acest termen reprezintă rezistența pe care o prezintă curentului electric, un cub cu latura de un centimetru.

Rezistivitatea conductoarelor este cuprinsă între 1 și 100 microohmi. Cea a semiconductoarelor cuprinde domeniul între 0,01 și 1 000 ohmi. Cît despre cea a corpurilor izolatoare ea este cuprinsă între 10 megohmi pînă la un bilion de megohmi (rezistivitatea cuarțului). Se vede deci, clar că semiconductoarele sînt plasate, din punct de vedere al rezistivității electrice, între conductoare și izolatoare.

CONDUCTIBILITATEA INTRINSECĂ

Cărui fapt se datorește *conductibilitatea intrinsecă* a semiconductoarelor? Foarte simplu: agitației termice a atomilor acestor corpuri. Știți că mișcarea dezordonată a moleculelor se datorește căldurii. Odată cu creșterea temperaturii agitația termică a moleculelor devine mai mare.

Astfel la o temperatură ambiantă de $4-22^{\circ}\text{C}$, agitația termică smulge dintr-un milion de atomi de germaniu numai doi electroni. Bineînțeles, aceasta nu este o cifră enormă. Gîndiți-vă însă că un miligram din această substanță conține 10^{26} atomi. Aceasta înseamnă, că pentru această cantitate există 2 miliarde de electroni liberi. Acest fapt permite trecerea prin germaniu a unui curent de ordinul unei miliardimi de amper.

Curentul acesta poate fi mărit în cazul creșterii temperaturii semiconductorului. Totuși, situația se evită, deoarece, după cum vom vedea imediat, semiconductoarele nu sînt utilizate pentru conductibilitatea lor intrinsecă. Siliciul este mult mai utilizat decît germaniul, deoarece este mult mai puțin sensibil la variațiile de temperatură: rezistivitatea siliciului variază mult mai puțin funcție de temperatură.

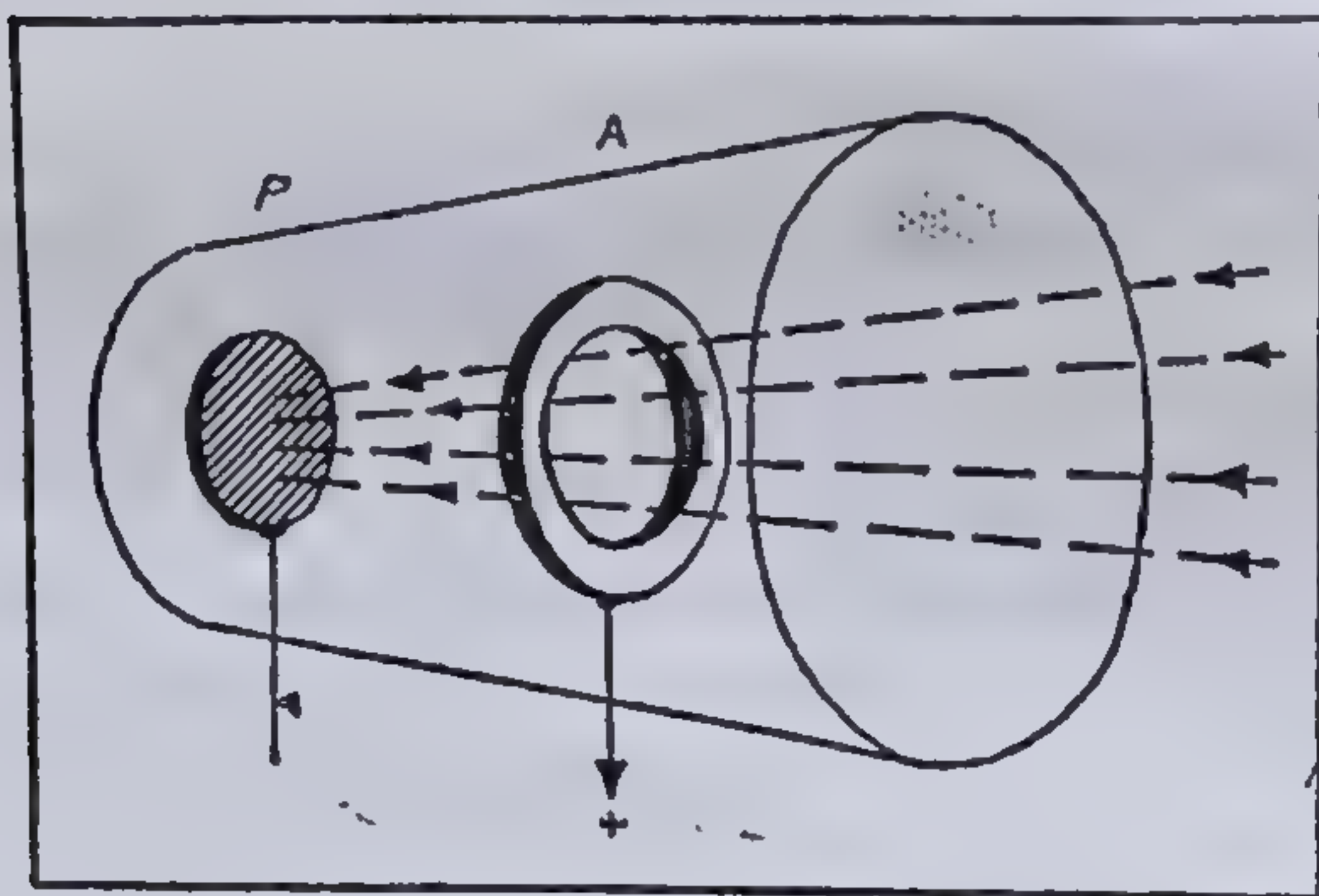
FOTOELECTRICITATEA

Conductibilitatea semiconductoarelor mai poate fi crescută și prin atacarea atomilor lor cu *fotoni*. Să vedem mai întîi ce este un foton. Foarte simplu. Un grăunte de lumină, căci, con-

form teoriei lui Louis de Broglie, razele luminoase se compun atît din aceste grăunțe de lumină, cît și din unde electromagnetice. Proiectați un fascicol de lumină pe o placă de seleniu și veți constata că rezistivitatea semiconductorului scade. Aceasta se explică în felul următor : fotonii lovesc atomii de seleniu și prin aceasta smulg acestuia electronii periferici pe care-i eliberează de pe orbitele exterioare, fapt ce permite circularea curentului electric.

În acest mod se realizează *celulele fotoconductoare*, care servesc la transformarea variațiilor intensității luminoase în semnale electrice.

Aceste celule au permis atît realizarea primelor dispozitive de transmitere a imaginilor fixe (ca de exemplu *belinograful*, inventat în jurul anilor 1920 de inginerul francez Edouard Belin) cît și a imaginilor mobile din primele emițătoare de televiziune.



Celulă fotoemisivă compusă dintr-un semiconductor fotosensibil *P* și dintr-un electrod *A* legat la un potențial pozitiv.

S-a putut realiza apoi, extragerea cu ajutorul fotonilor a electronilor de pe suprafața unor materiale semiconductoare cum ar fi cadmiul. S-au obținut astfel, *celulele emițătoare*. Procedeu este următorul : s-a plasat materialul semiconductor în vid, iar electronii eliberați cu ajutorul bombardamentului de fotoni au fost captați cu ajutorul unui electrod pozitiv, plasat în imediata sa vecinătate. Procedeu reamintește principiul de funcționare al diodei cu vid.

SEMICONDUCTOARE NEGATIVE

Ceea ce este esențial în utilizarea semiconductoarelor nu este nici agitația termică și nici efectul fotoelectric, ci prezența unor *impurități*. Da, Ignotus, tot răul spre bine. O foarte

mică cantitate de substanță străină, de exemplu 1 atom la 10 milioane de atomi ai materialului semiconductor, schimbă complet comportarea acestuia.

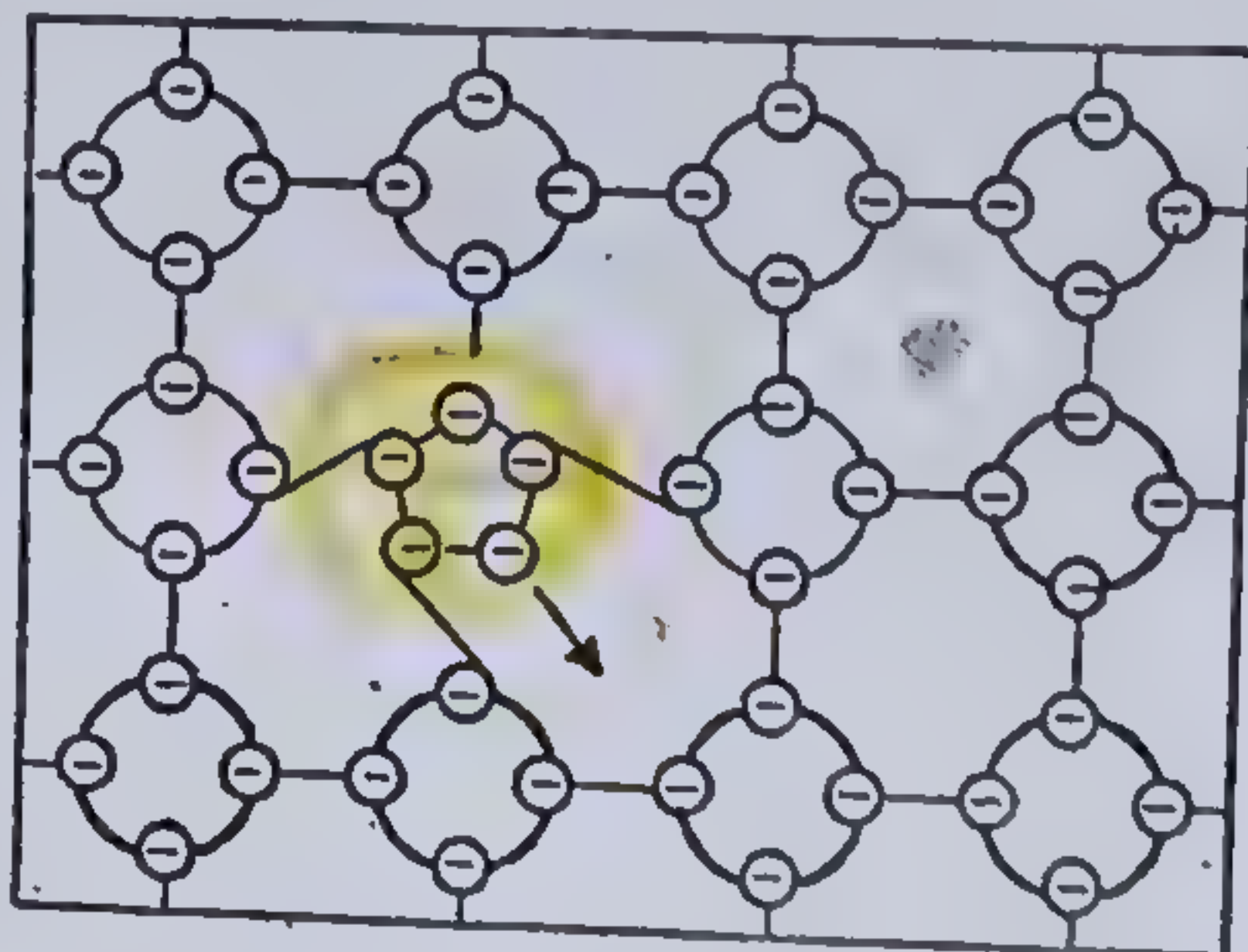
Să luăm cazul impurităților pentavalente, adică a acelor substanțe compuse din atomi care, pe orbita exterioară posedă 5 electroni. Este cazul **arseniului** și al **antimoniului**.

Reamintiți-vă structura cristalină a materialelor semiconductoare în care, fiecare din cei 4 electroni de pe orbita exterioară stabilește o legătură stabilă cu atomii vecini. Prezența unui atom străin ce posedă 5 electroni periferici, distruge ordinea perfectă a structurii.

Patru electroni din cei 5 intră în legătură de valență cu atomii vecini. Ce va face însă cel de-al cincilea? Ei bine, acesta devine liber. Atomul său este considerat un *atom donor*. Iar semiconductorul este considerat semiconductor de *tip n*, adică negativ.

Dacă unui astfel de semiconductor i se va aplica o diferență de potențial, electronii liberi vor fi atrași de potențialul pozitiv, semiconductorul va fi traversat de un curent electric alimentat de potențialul negativ care va furniza electronii necesari circulației curentului.

Faptul cel mai curios este acela, că în semiconductorul negativ atomii impurităților devin pozitivi. Prin plecarea celui de



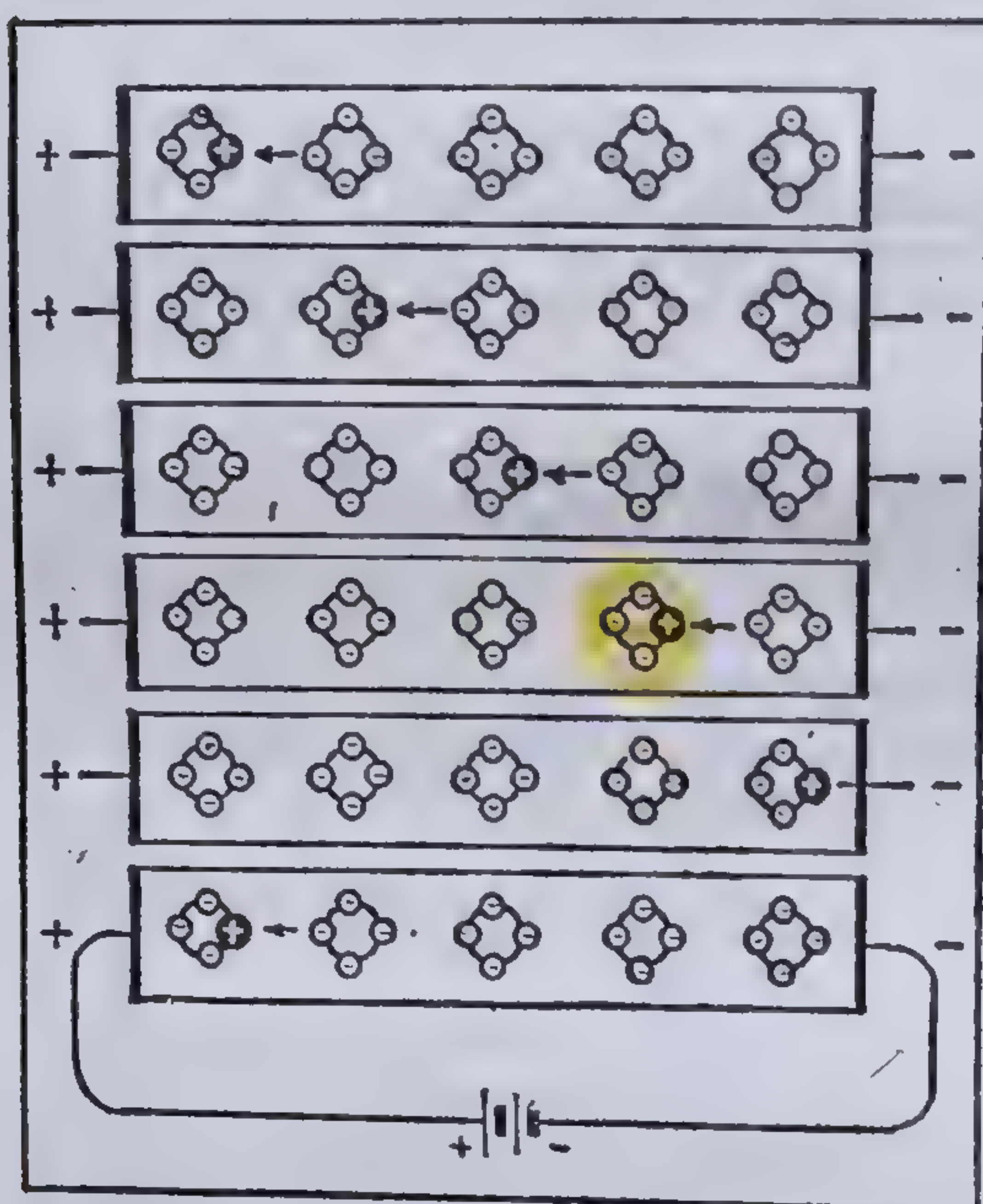
În structura cristalină a atomilor cu patru electroni periferici se observă un atom străin cu 5 electroni periferici.

al cincilea electron periferic, neutralitatea proprie atomului se distruge, ceea ce pozitivează atomul. Pierderea electronului face ca atomul respectiv să încerce să atragă un alt electron.

SEMICONDUCTOARE POZITIVE

Să vedem acum ce se întâmplă în cazul în care într-un material semiconductor se introduc impurități trivalente, cum ar fi impurificarea cu **aluminu**, **indiu** sau **galiu**, substanțe care, pe orbita exterioară nu posedă decât trei electroni.

Un astfel de atom, plasat într-o rețea cristalină de atomi care posedă pe orbita exterioară numai 4 electroni periferici, stabilește legături de valență numai cu 3 electroni învecinați. Cel de al patrulea electron al materialului tetravalent (siliciu sau germaniu) dorește și el să intre în legătură cu un atom, pentru a menține structura normală a cristalului. Din această cauză, atomul este dispus să cedeze acest electron structurii cristaline.



Într-un semiconductor pozitiv un „gol” al unei impurități trivalente este compensat de un electron ce se deplasează dinspre polul negativ; acesta va crea la rândul său un nou „gol” în atomul de unde a plecat și așa mai departe. Figura indică fazele succesive de deplasare ale electronilor, care se îndreaptă spre polul pozitiv și ale „golurilor” care se deplasează spre polul negativ. În ultima fază, un electron ce provine din sursa de curent umple „golul” din apropierea polului negativ; în același timp, un electron părăsește atomul cel mai apropiat de polul pozitiv creând astfel un nou „gol”. Și tot fenomenul reîncepe.

Din momentul în care electronul respectiv este cedat structurii cristaline, atomul devine pozitiv, deoarece absența electronului în cauză, devine un gol. Prin dezechilibrul creat, atomul va căuta să atragă un alt electron de la un atom vecin.

De fapt, toată această deplasare de electroni se produce numai în momentul în care la capetele semiconductorului se aplică o diferență de potențial. În acest moment, golul unui atom trivalent este ocupat de un electron ce vine din direcția din care se aplică potențialul negativ, în așa fel, încât prin aceasta, electronul se apropie de electrodul cărui i se aplică potențialul pozitiv. Însă, prin deplasarea electronului, acesta trecând de la un atom la altul, el lasă în urma lui un alt gol, care se apropie de electrodul negativ. Astfel încât prin această

deplasare a electronilor spre electrodul pozitiv, golurile se apropie de electrodul negativ. Și așa mai departe.

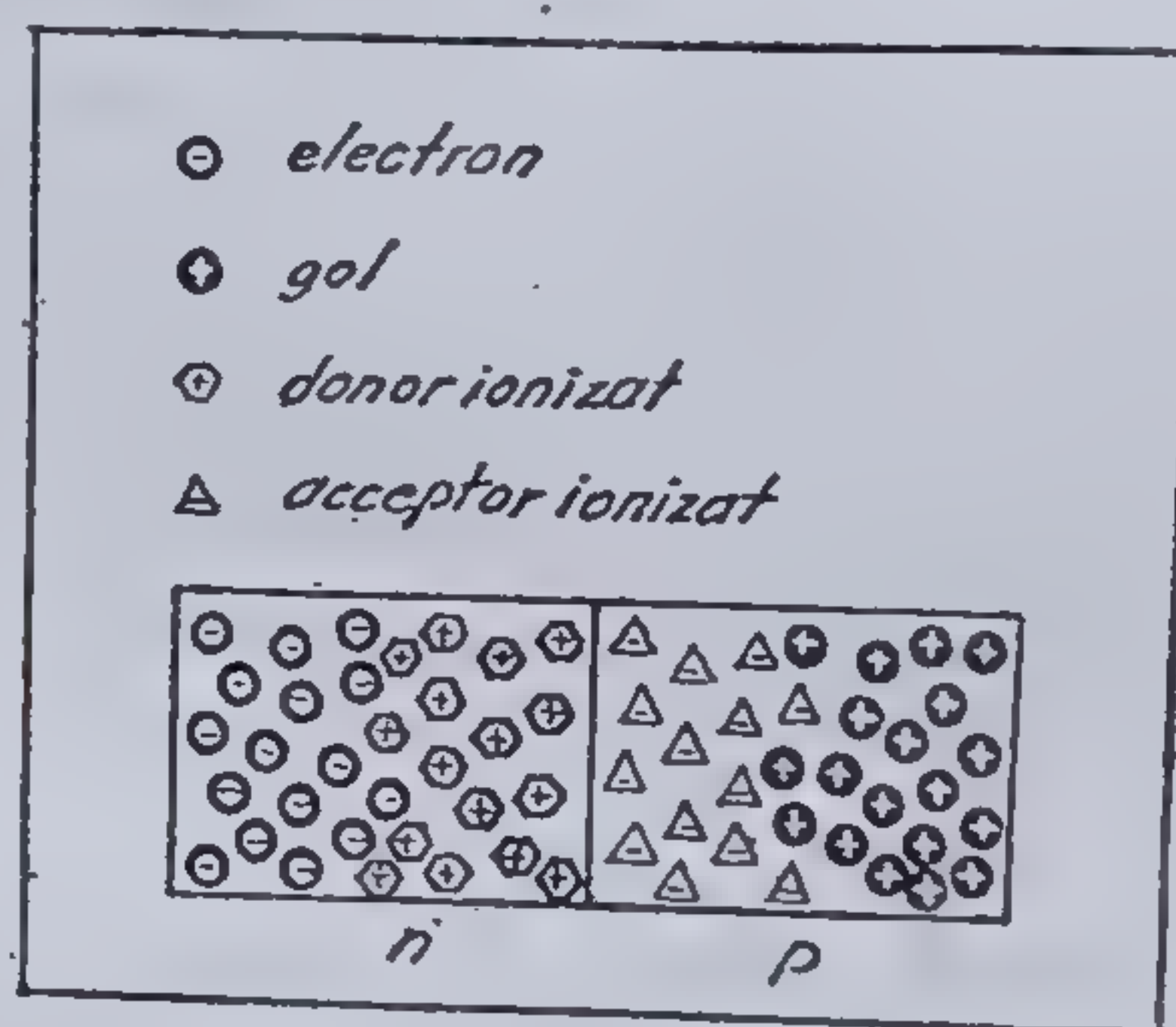
Vedeți deci, că grație acestor impurități trivalente, golurile, adică sarcinile pozitive, se deplasează dinspre extremitatea pozitivă spre cea negativă, în timp ce electronii se deplasează în sens contrar.

Un astfel de semiconductor este un semiconductor de tip *p* (pozitiv). Și, fenomen tot atât de paradoxal ca în cazul semiconductorului de tip *n*, atomii impurităților trivalente devin ioni negativi, în cazul în care un electron suplimentar se atașează orbitei lor exterioare. Spre deosebire de atomii donori de impurități pentavalente, acești atomi sînt considerați ca atomi *acceptori*.

JONCTIUNEA pn

Să vedem acum ce se va întîmpla în cazul în care vom uni două semiconductoare de tipuri opuse.

Joncțiune între semiconductoare de tip *n* și *p*. Observați densitatea mărită a atomilor ionizați în apropierea joncțiunii, atomi ce resping golurile și electronii.



Va modifica joncțiunea *n-p* repartiția sarcinilor în interiorul semiconductoarelor astfel sudate?

Veți ghici că atomii donori din semiconductorul *n*, fiind ionizați pozitiv, vor atrage atomii acceptori din semiconductorul de tip *p* care, la rîndul lor sînt ionizați negativ. Astfel încît, în imediata vecinătate a joncțiunii densitatea atomilor ionizați va crește considerabil de ambele părți.

Dar dacă sarcinile de polarități opuse se atrag reciproc, sarcinile de aceeași polaritate se resping. În consecință, ioni pozitivi din semiconductorul *n* veniți aproape de joncțiune vor respinge atomii ionizați pozitiv (golurile) din semiconducto-

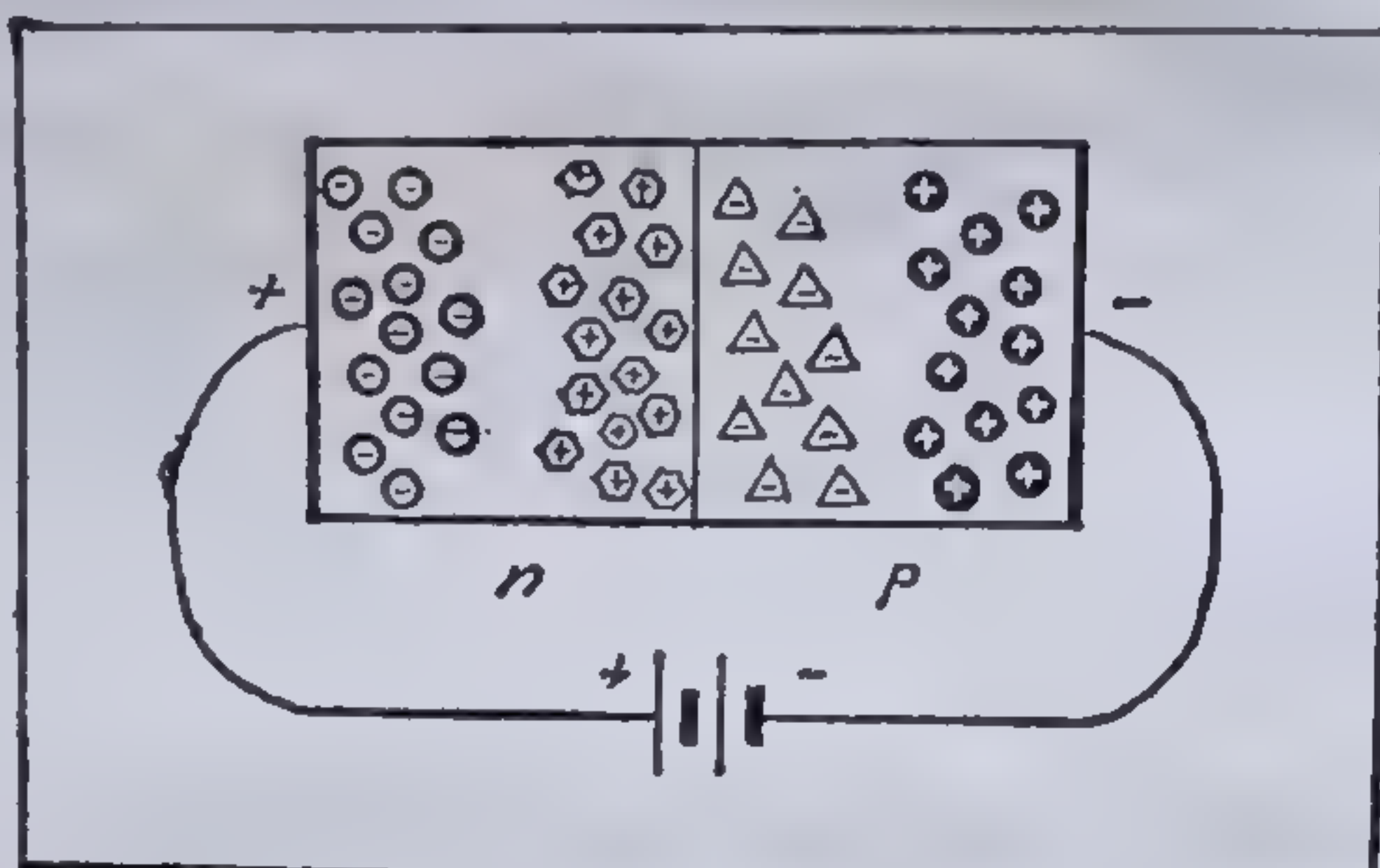
rul p , aflați în imediata vecinătate a joncțiunii. În ceea ce privește ionii negativi din semiconductorul p , veniți spre joncțiune vor respinge electronii liberi din porțiunea n .

Constatați deci, că prin unirea prin joncțiune a celor două tipuri n și p , aceasta a provocat în interiorul fiecărui tip de semiconductor o deplasare a electronilor liberi, fără ca prin aceasta să se modifice sarcina electrică totală, care rămâne neutră. De fapt, atât în semiconductorul de tip n cât și în cel de tip p sarcinile pozitive sînt egale cantitativ cu sarcinile negative.

TENSIUNEA ELECTRICĂ A POLARITĂȚILOR OPUSE

Vom aplica acum acestui ansamblu de semiconductoare (acestei joncțiuni) o diferență de potențial furnizată de o sursă electrică. Vom conecta polul pozitiv al acestei extremități semiconductorului de tip n și polul negativ, extremități de tip p . Ce se va întîmpla?

Dacă unei joncțiuni $n-p$ i se aplică o tensiune inversă celei de conducție, polul pozitiv va atrage electronii, cel negativ golurile și curentul nu poate trece.



Potențialul pozitiv aplicat porțiunii n va atrage electronii liberi din acest semiconductor, aceștia fiind deja în surplus în această extremitate; pe de altă parte, el va respinge ionii pozitivi împingîndu-i mai mult spre joncțiune.

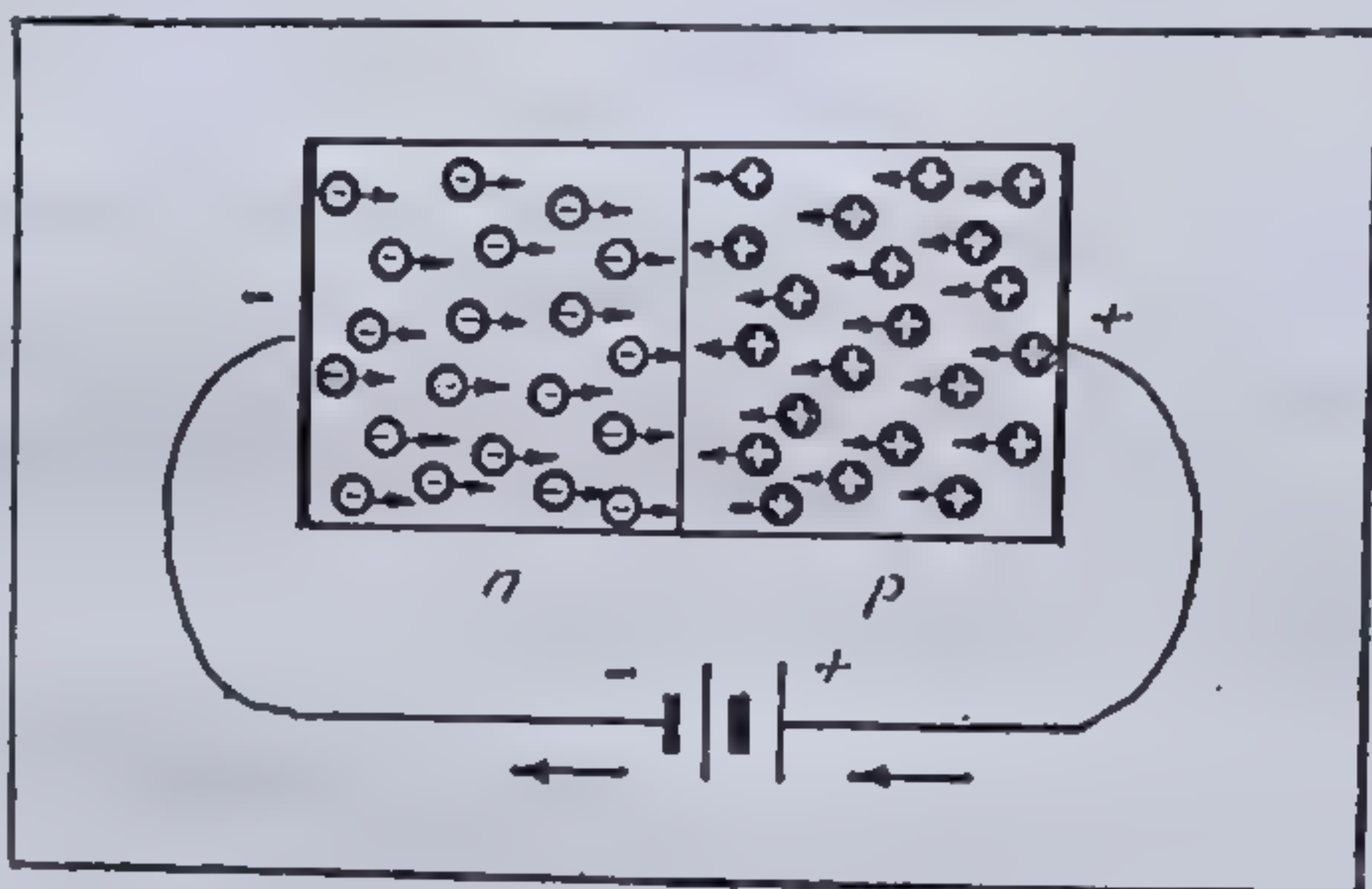
În ceea ce privește potențialul negativ, aplicat extremității p , acesta va atrage atomii „goluri” pozitivi care erau denși în această parte; din acelaș motiv, el va respinge electronii pe care îi va dirija spre joncțiune.

Și în această situație se vede clar că prin joncțiune nu va trece nici un fel de curent, aplicarea unui potențial ca cel de mai sus, nu va avea ca rezultat decît faptul mării densității repartiției atomilor ionizați, adică a atomilor „goluri” și a electronilor liberi.

APLICAREA UNOR TENSIUNI CORESPUNZĂTOARE

Să vedem acum ce se întâmplă dacă schimbăm polaritățile tensiunilor aplicate joncțiunii. La extremitatea fiecărui semiconductor se va aplica o tensiune corespunzătoare tipului respectiv, adică la extremitatea semiconductorului de tip p se va aplica un potențial pozitiv, iar la extremitatea semiconductorului de tip n se va aplica un potențial negativ.

Joncțiune $n-p$ polarizată în sensul conductiei (direct). Polul negativ este legat la semiconductorul de tip n , iar cel pozitiv la semiconductorul p .



Potențialul negativ va respinge electronii liberi ai semiconductorului de tip n spre joncțiune, pe care aceștia o vor traversa foarte ușor fiind atrași de potențialul pozitiv aplicat semiconductorului de tip p . Acest potențial, la rândul său, va respinge golurile care se vor îndrepta spre joncțiune și pe care o vor traversa ușor fiind atrase de potențialul negativ aplicat semiconductorului n .

Dacă în continuare veți dori o explicație mai completă, vă voi răspunde că polul pozitiv va atrage și va absorbi un electron liber din extremitatea p , ori de câte ori un astfel de electron va trece prin joncțiunea $n-p$ dintre cele două semiconductoare. Golul creat prin pierderea electronului va fi imediat completat printr-un alt electron provenit de la un atom din vecinătatea joncțiunii. Golul creat prin plecarea acestui electron va fi completat la rândul său printr-un electron provenit de la un alt atom, și așa mai departe. Numai această trecere a electronilor de la un atom la altul și deci deplasarea virtuală în sens opus a golurilor, explică trecerea golurilor din semiconductorul de tip p prin joncțiune spre semiconductorul de tip n . În același timp electronii realizează aceeași traversare însă în sens opus.

DIODA SEMICONDUCTOARE

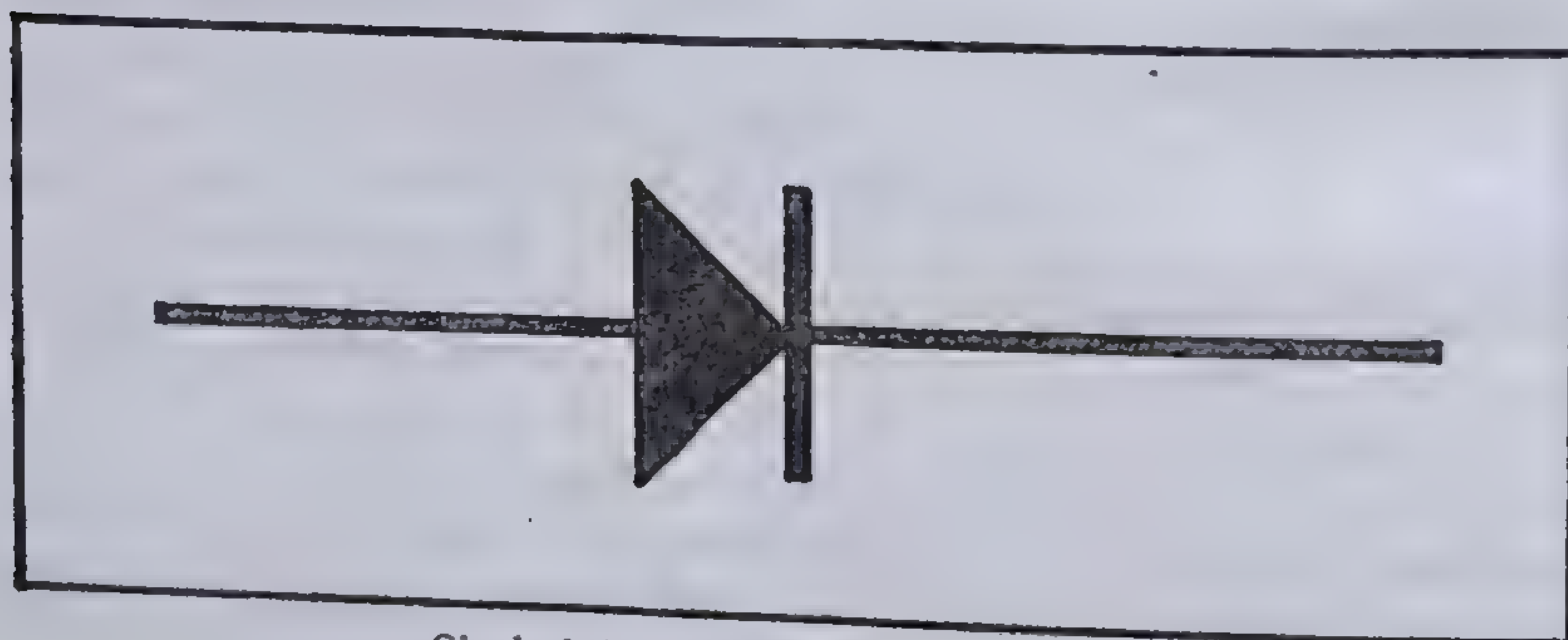
Din cele explicate mai sus, se vede clar că joncțiunea $n-p$ lasă curentul electric să treacă ușor într-un sens, în schimb se opune trecerii acestuia în sens opus. Cu alte cuvinte, joncțiunea realizată între două semiconductoare, unul de tip p , iar celălalt de tip n constituie un releu electric analog ca funcționare cu dioda cu vid. Iată de ce joncțiunea $n-p$ este denumită *diodă semiconductoare*.

Ea înlocuiește avantajos dioda cu vid în toate utilizările acesteia, fiind utilizată atât ca detectoare, cât și ca redresoare de curent alternativ pentru sursele de alimentare. În plus, vă rog să remarcați că aci nu se mai pune problema încălzirii filamentului ca în cazul tuburilor electronice.

În schimb, dioda semiconductoare trebuie utilizată cu mare grijă în ceea ce privește tensiunea aplicată în sensul de blocare, tensiune ce nu trebuie să depășească o anumită limită. Dacă acestei diode i se aplică o tensiune de blocare care depășește valoarea permisă, bariera de potențial pe care o opune joncțiunea este distrusă, fapt care duce la circulația unui curent de intensitate mare, în sensul care în mod normal este interzis conducției.

Acest fenomen a fost studiat de un cercetător numit Zener. Iată de ce tensiunea limită ce nu trebuie depășită îi poartă numele. Se înțelege că dacă veți utiliza dioda semiconductoare ca redresoare de curent alternativ, tensiunea alternativă nu trebuie să depășească *tensiunea Zener*.

Deoarece până aci v-am expus noțiunile fundamentale relative la materialele semiconductoare și mai ales comportarea joncțiunii $n-p$, cred dragă Curiosus, că vei putea explica ușor lui Ignotus, principiul și utilizarea tranzistoarelor.



Simbolul diodei semiconductoare.

Tranzistorul

În acest capitol se expun noțiunile de bază asupra tranzistoarelor : structura lor, modul lor de alimentare, circulația curenților în circuitele de intrare și de ieșire, sechema generală a unui etaj amplificator, variația curentului de colector funcție de tensiunile aplicate la intrare, rezistența de intrare și puterea disipată.

IMOBILITATEA ATOMILOR

IGNOTUS : Structura acestor semiconductoare mi se pare curios de complexă, datorită impurităților trivalente și penta-valente ce formează porțiunea pozitivă și cea negativă a joncțiunii $p-n$. Trebuie în orice caz, să ținem seama de atomii de impurități ionizați pozitiv și negativ, de atomii semiconducturului care, pierzând un electron devin „goluri” pozitive și în sfârșit, de electronii liberi. În momentul aplicării unei tensiuni care va avea ca rezultat trecerea unui curent electric, există o mișcare foarte complicată a tuturor particulelor enumerate mai sus.

CURIOSUS : Nu te speria, dragul meu prieten. În realitate, trecerea curentului electric nu are ca rezultat deplasarea atomilor. În mișcare se pun numai electronii, fenomen identic ca la materialele conductoare.

Nu uita că atomii semiconductoarelor noastre constituie rețele cristaline și prin aceasta sînt foarte bine fixați pe locurile lor.

IGNOTUS : În acest caz nu pricep ceea ce ne-a explicat unchiul tău cînd ne-a prezentat cum în joncțiunile $p-n$ densitatea atomilor ionizați acceptori și donori se modifică funcție



de apropierea sau depărtarea acestora de joncțiune. Cum pot varia aceste densități dacă atomii nu se pot mișca?

CURIOSUS : Foarte simplu, datorită deplasării electronilor care părăsesc un număr mai mare sau mai mic de donori, electroni care se vor plasa pe orbita periferică a acceptorilor, care la rândul lor ocupă un loc în altă parte.

Cînd vorbim de un „gol“, adică de un atom devenit pozitiv din cauza pierderii unui electron periferic și care se deplasează de la polul pozitiv spre polul negativ, nu este vorba, în realitate de mișcarea atomului, ci de o serie de treceri de electroni de la un atom la altul vecin, dar situat mai aproape de polul pozitiv. Astfel, „golul“ ia naștere la un atom, apoi la atomul vecin mai apropiat de polul negativ, apoi la altul plasat și mai aproape de sursa negativă, mișcîndu-se astfel din atom în atom pînă ce atinge această sursă.

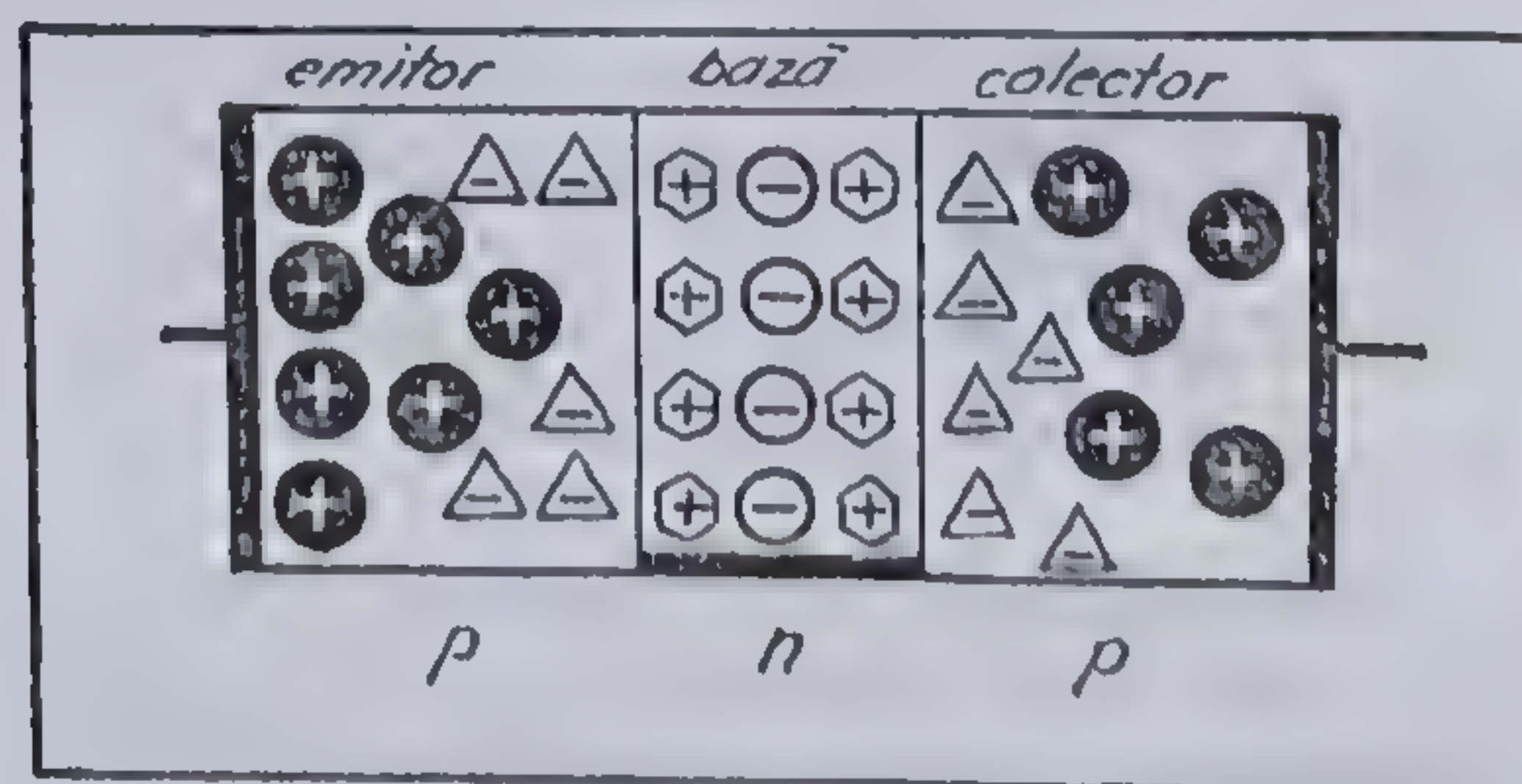
IGNOTUS : Încep să înțeleg. De fapt, se deplasează numai electronii. Din cauza mișcării lor, variază și sarcinile anumitor atomi care încetează să mai fie neutri, devenind pozitivi în cazul în care pierde un electron sau negativi în cazul în care câștigă unul.

JONCȚIUNE + JONCȚIUNE = TRANZISTOR

CURIOSUS : Sînt foarte satisfăcut că în sfîrșit ai înțeles corect ceea ce se petrece într-o joncțiune. Acest fapt îmi permite să cuplez acum două joncțiuni și astfel să realizez un tranzistor.

IGNOTUS : Nu prea văd cum cuplezi tu două perechi, fiecare pereche formînd de fapt, o joncțiune.

CURIOSUS : Ei bine, să luăm două joncțiuni de sens opus, de exemplu o joncțiune $p-n$ și una $n-p$, pe care le vom uni în așa fel încît porțiunea n să fie comună ambelor joncțiuni. Vom



Repartiția electronilor, golurilor și atomilor ionizați în cele trei porțiuni ale tranzistorului înainte de aplicarea tensiunii la bornele acestuia.

obține astfel un tranzistor de tipul *pnp*. Porțiunea din mijloc, în cazul nostru porțiunea *n*, trebuie să fie foarte subțire. Ea poartă numele de *bază*. Una din extremitățile *p* se numește *emitor*, cealaltă *colector*.

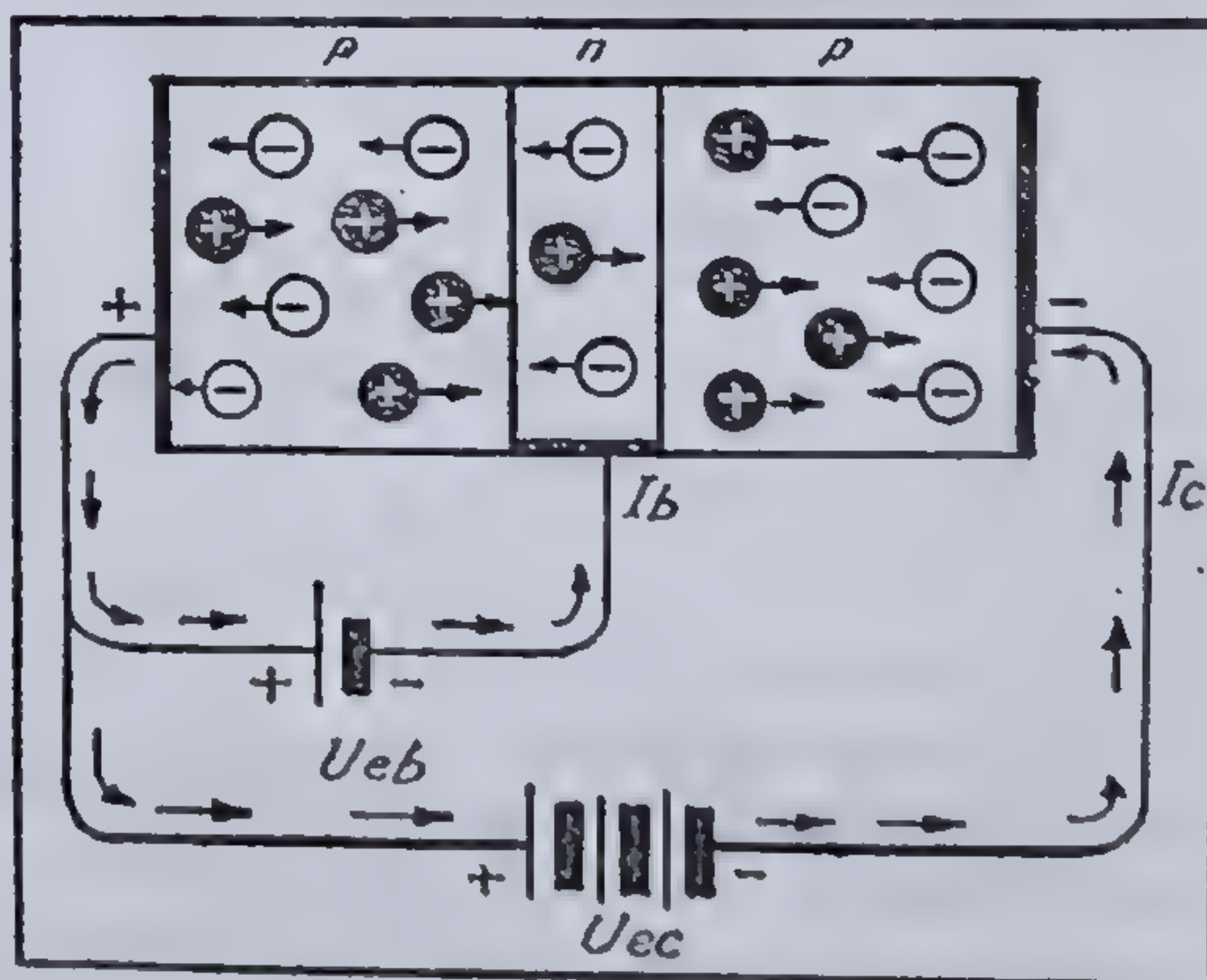
IGNOTUS : Numele alese sînt foarte frumoase, dar după mine nu seamănă a nimic ! Tranzistorul tău constituie un obstacol perfect trecerii oricărui curent. Ai plasat două diode în sens opus. Fiecare din acestea nu lasă să treacă curentul electric decît într-un singur sens. Dar fiind dispuse conform dorinței tale, dacă una lasă curentul să treacă, în schimb cealaltă îl blochează. Vei putea aplica deci, între emitor și colector fie o diferență de potențial negativ-pozitivă sau invers, prin tranzistor, oricum, nu va trece nici un fel de curent.

TRANZISTORUL *pnp*

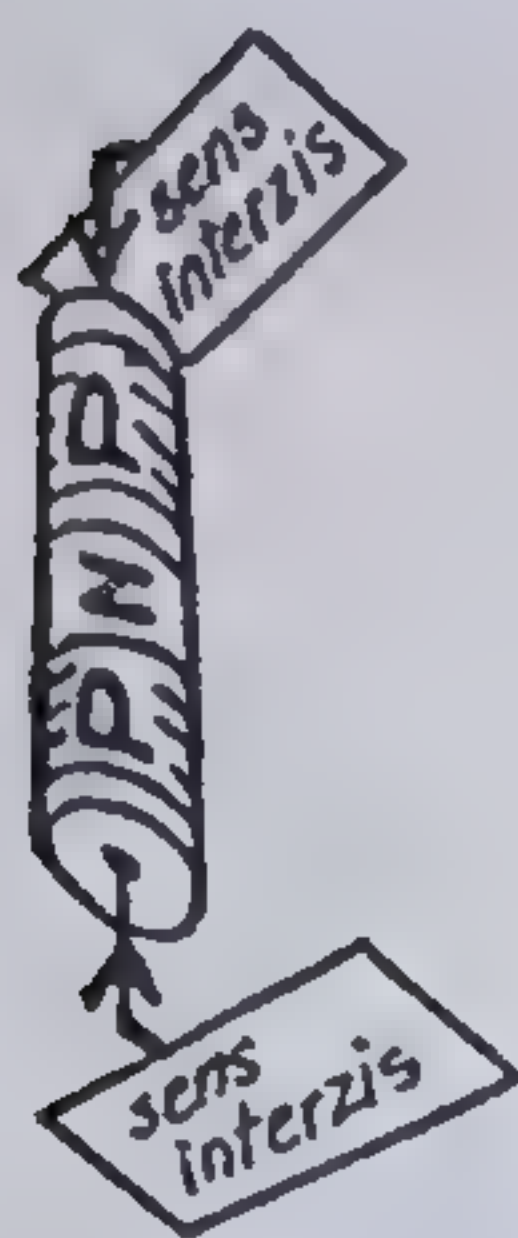
CURIOSUS : Sînt cu totul de acord. Dar hai să vedem acum cum se petrec lucrurile dacă între emitor și bază se aplică o tensiune.

Să conectăm o baterie de cîtiva volți între emitor și colector, legînd borna pozitivă la emitor și cea negativă la colector. Conectăm acum o altă baterie de tensiune și mai mică, între emitorul pus la plus și bază legată la minus. Ce se va întîmpla acum, dragă Ignotus ?

Deplasarea purtătorilor de sarcină într-un tranzistor *pnp*, polarizat în sensul trecerii curenților.



IGNOTUS : Foarte simplu. Curentul va trece dinspre emitor spre bază, deoarece cea de a doua baterie este conectată



în sensul direct de conducție al joncțiunii emitor bază, astfel încât electronii vor putea traversa joncțiunea $p-n$. În acest caz, însă, nu văd la ce ar putea servi bateria conectată între emitor și colector.

CURIOSUS : Baza fiind polarizată negativ, va atrage efectiv din emitor un număr considerabil de goluri pozitive. O mică parte din aceste goluri va trece spre polul negativ al bateriei conectate între emitor și bază, electronii circulând în sens contrar. Acesta este curentul foarte slab ce circulă între emitor și bază, fiind notat I_b și denumit curent de bază.

Să ne amintim însă, că baza este foarte subțire, astfel încât majoritatea golurilor pozitive care au pătruns aci venind din emitor își vor continua drumul și vor intra în colector. Acesta fiind polarizat negativ, nu va avea decît să atragă golurile pozitive.

IGNOTUS : De abia acum înțeleg că, datorită curentului foarte slab ce circulă între emitor și bază, ia naștere odată cu acesta un curent mult mai intens ce va circula dinspre emitor, prin bază, spre colector.

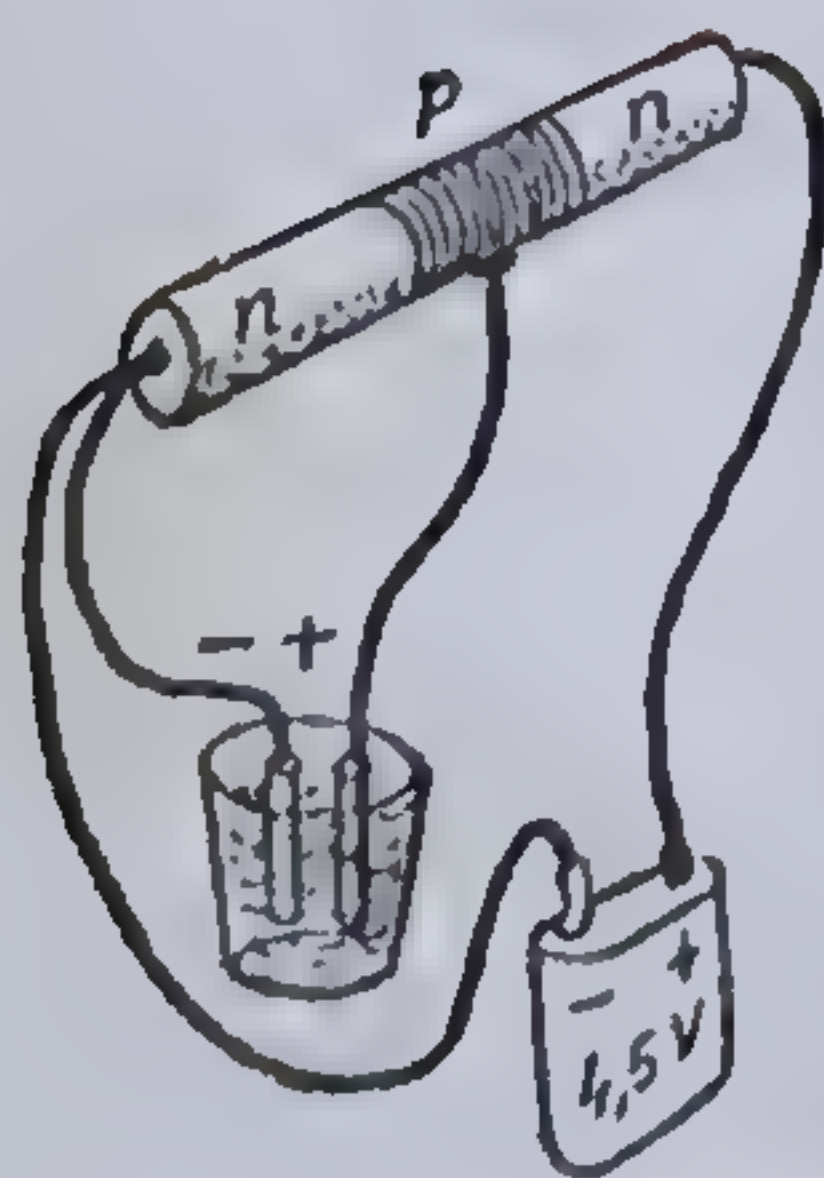
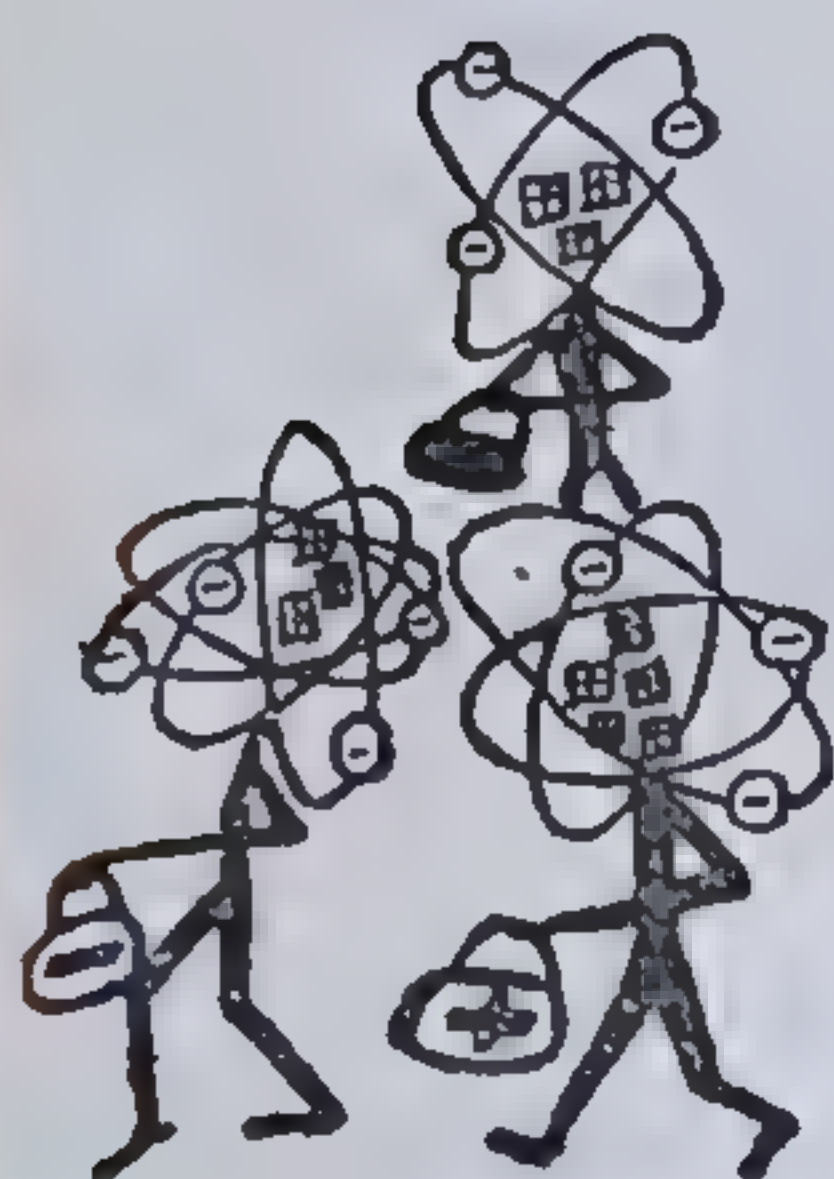
CURIOSUS : Ceea ce spui este foarte adevărat. Într-adevăr curentul de bază este în general de ordinul zecimilor sau sutimilor de microamperi, în timp ce curentul de colector, I_c , este de ordinul miliamperilor sau chiar zecilor de miliamperi. La tranzistoarele de putere el este mult mai mare.

Dar înainte de a examina acești parametri numerici, ași vrea să știu dacă ai putea tu singur să analizezi funcționarea unui tranzistor $n-p-n$, care conform structurii sale posedă polarități inverse tranzistorului $p-n-p$ studiat mai sus.

TRANZISTORUL $n-p-n$

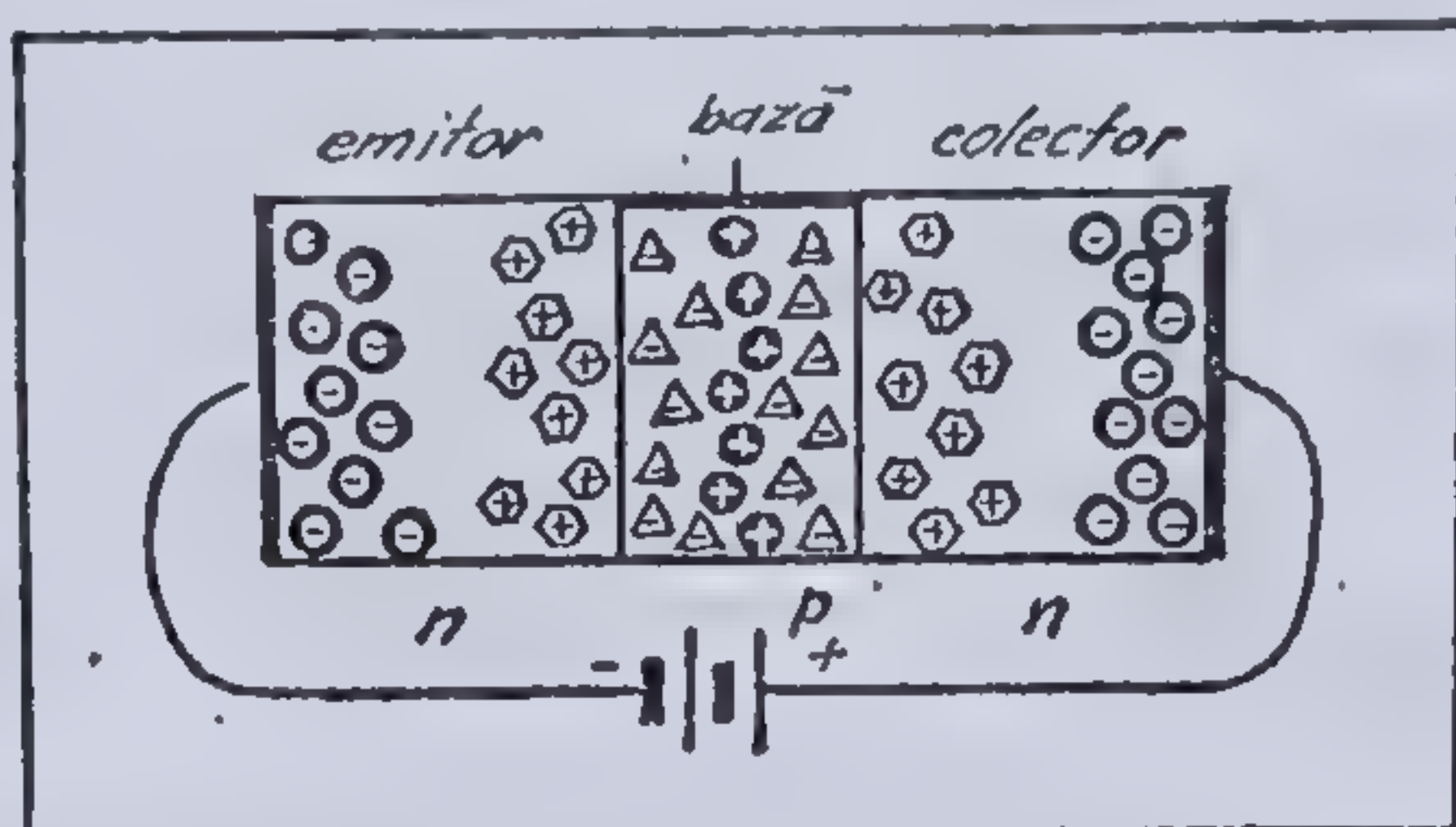
IGNOTUS : Am să încerc. În absența tensiunii, emitorul care este de tipul n , va poseda în surplus de electroni liberi la extremitatea sa, în timp ce în porțiunea învecinată joncțiunii cu baza densitatea ionilor pozitivi va fi mai mare. Prin aceasta, în bază, în vecinătatea joncțiunii vor exista ioni negativi. O aceeași dispunere a sarcinilor electrice va exista și în vecinătatea joncțiunii bază colector. În ceea ce privește porțiunea din mijlocul bazei va exista o cantitate de goluri, deoarece electronii liberi au fost atrași spre cele două joncțiuni de care am vorbit.

CURIOSUS : Tot ceea ce ai spus pînă acum este perfect exact. Văd că ai înțeles destul de bine repartitia diverselor sarcini electrice în vecinătatea joncțiunilor. Fă-mi acum plăcerea



de a aplica tensiunile necesare polarizării celor trei elemente ale tranzistorului.

IGNOTUS : Voi conecta o baterie cu polul negativ la emitor și cu polul pozitiv la colector. Apoi voi aplica o tensiune

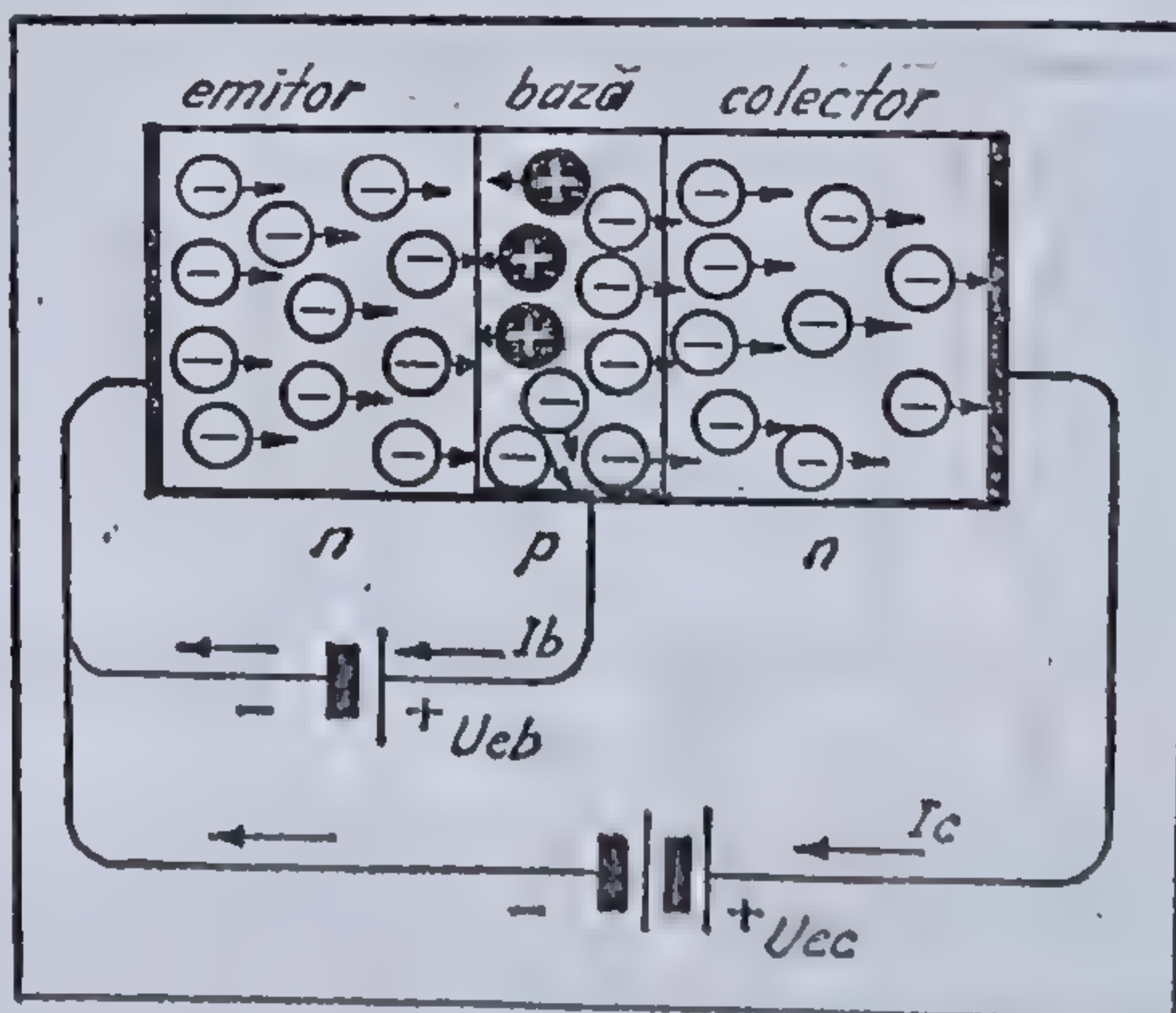


Tranzistor npn.

mult mai mică între emitor și bază, cu polul pozitiv conectat la bază, pozitivînd-o astfel față de emitor.

CURIOSUS : Ce se va întîmpla acum ?

IGNOTUS : Și de această dată tensiunea aplicată este în sensul realizării conducției între emitor și bază. Din acest moment electronii liberi vor trece repede din emitor în bază. O anumită cantitate din aceștia va trece spre polul pozitiv al bateriei conectate între emitor și bază, o va traversa și va reveni din nou spre emitor.



Prin atragerea electronilor din emitor spre bază, tensiunea de polarizare U_{eb} le deschide acestora drumul spre colector.

Acesta va forma curentul de bază. Dar și în acest caz el va avea o valoare foarte mică, deoarece din cauza extraordinarei subțirimi a bazei, majoritatea electronilor care provin din emi-



tor vor traversa cea de a doua joncțiune, cu atât mai mult cu cât ei vor fi atrași de potențialul pozitiv aplicat colectorului. Electronii din bază vor intra deci, în colector și se vor îndrepta spre polul pozitiv al bateriei U_{ec} pe care o vor traversa revenind în final spre emitor.

CURIOSUS : Bravo, Ignotus ! Ai fi putut adăuga însă că golurile pozitive, care înainte de aplicarea tensiunilor de polarizare existau în mijlocul bazei, vor trece spre emitor, fiind atrase de potențialul său pozitiv.

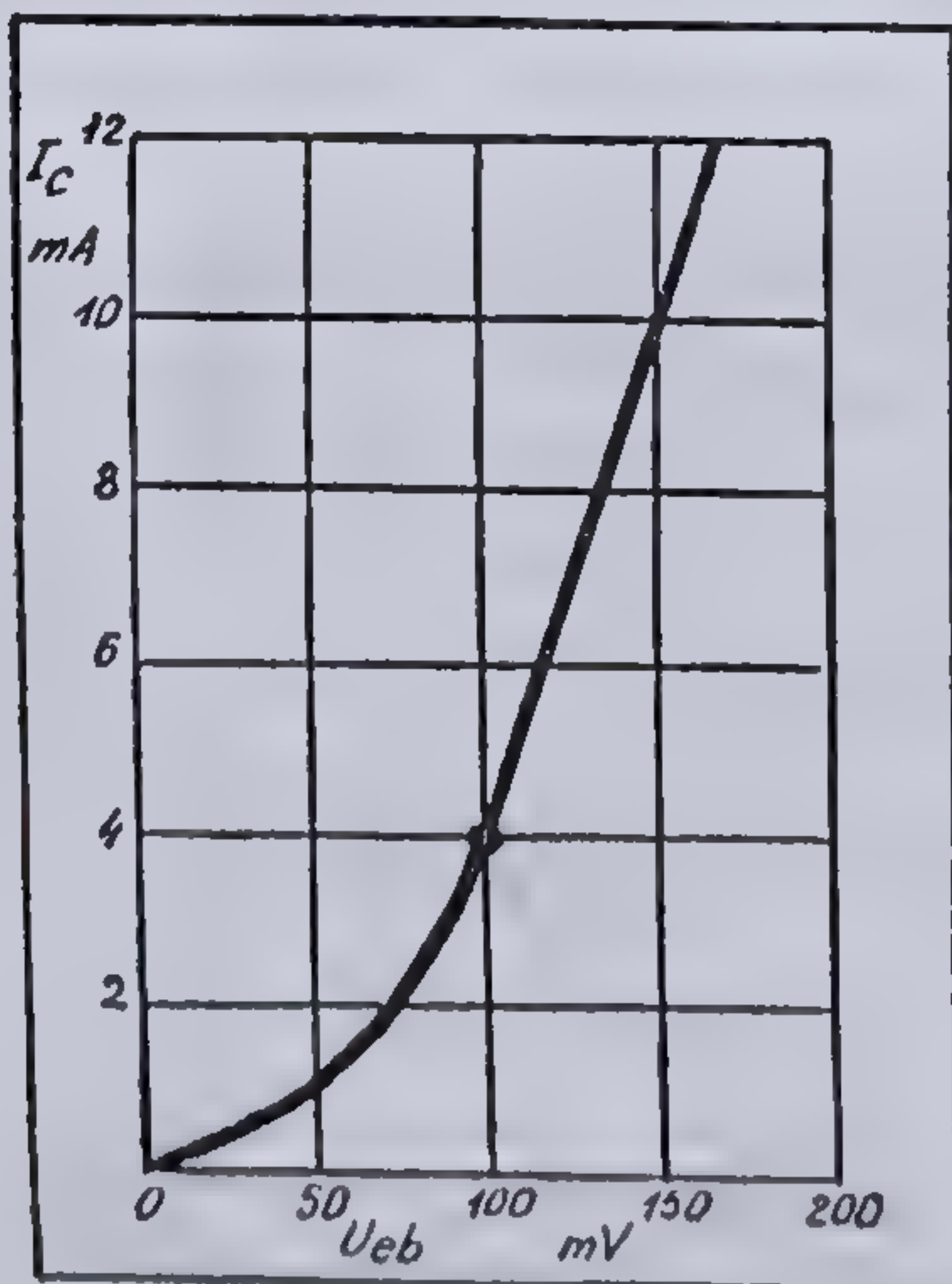


ANTOLOGIA TRANZISTOR — TRIODĂ

IGNOTUS : Să-mi explici acum, te rog, cum variază curentul de colector în funcție de curentul de bază.

CURIOSUS : S-ar putea spune că I_c este practic proporțional cu I_b . Curba pe care ți-o prezint mai jos este, de fapt, o linie dreaptă. În momentul în care curentul de bază crește cu $100 \mu A$, cel de colector crește cu $3 mA$, adică de treizeci de ori mai mult.

Dar ceea ce este mult mai impresionant sînt curbele de variație a curentului de colector funcție de tensiunea, U_{be} , emitor bază. Pe curba pe care ți-o arăt, în momentul în care tensiunea, U_{be} , emitor bază variază de la 100 la $150 mV$, cu-



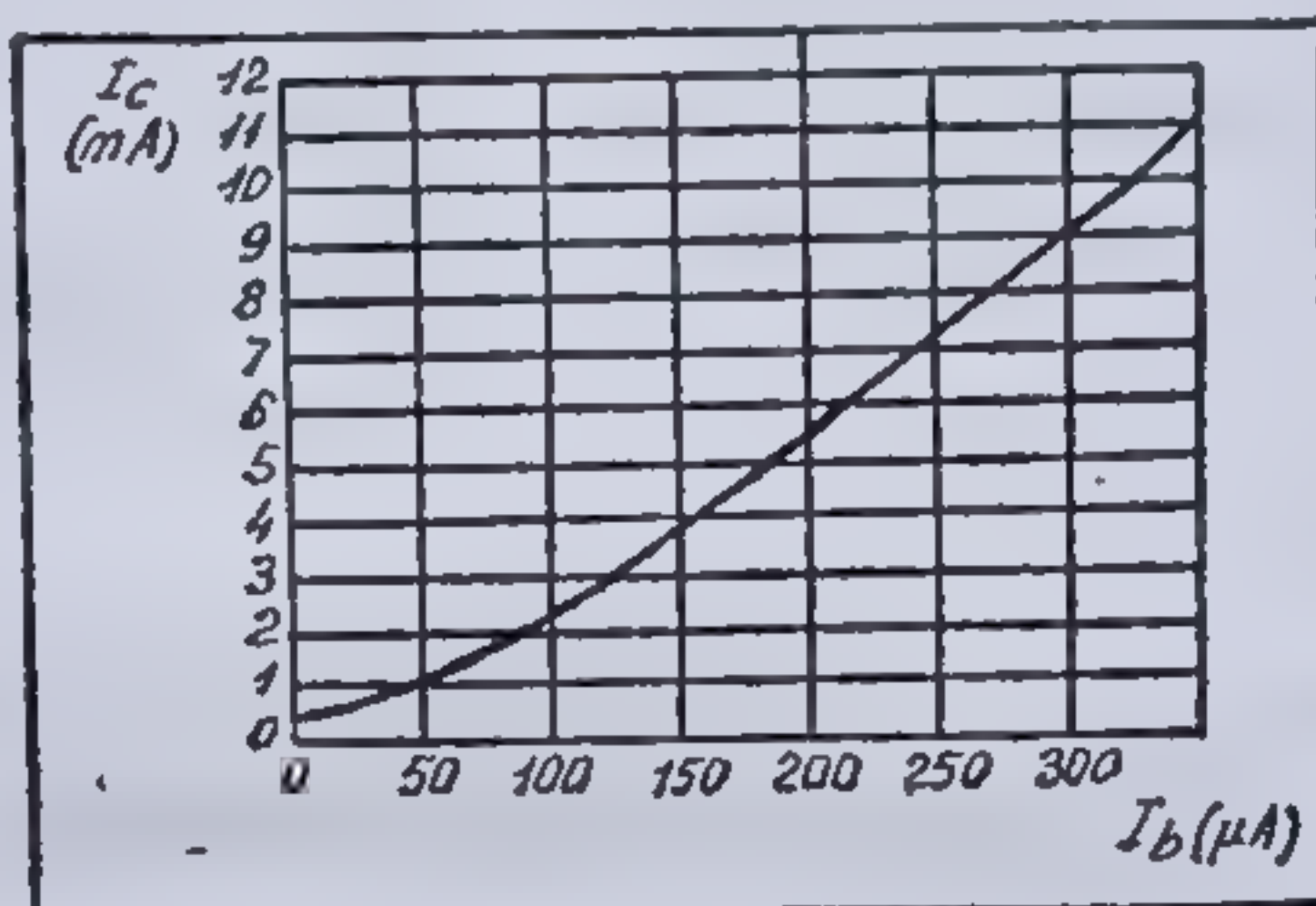
Curba de variație a curentului de colector I_c funcție de tensiunea U_{be} aplicată între emitor și bază.

rentul de colector I_c trece de la 4 la 10 mA. Cu alte cuvinte, acest curent crește cu 6 mA pentru o variație a tensiunii de bază de 50 mV, ceea ce revine la 1/20 dintr-un volt.

IGNOTUS : Aceasta ne dă o pantă de 6 împărțită la 1/20 sau cu alte cuvinte 120 mA/V. Dar asta este de-a dreptul formidabil !



Curba de variație a curentului de colector I_c funcție de curentul de bază I_b



CURIOSUS : Nu chiar așa. Căci există tranzistoare avînd o pantă de 300 mA/V și chiar mai mult.

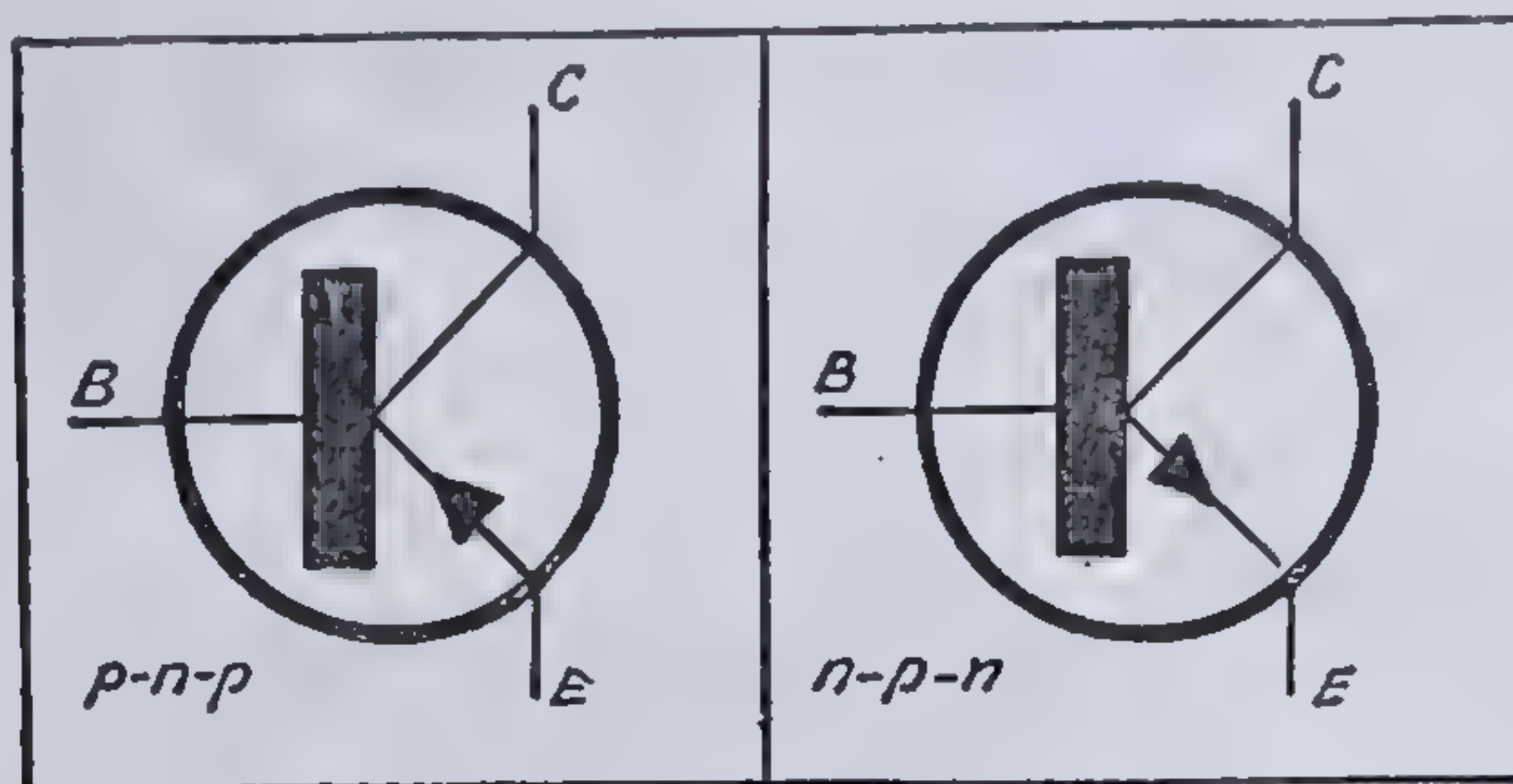
IGNOTUS : Dar ceea ce mă uimește cel mai mult este analogia dintre tranzistor și trioda cu vid. Emitorul corespunde catodului, baza corespunde grilei, iar colectorul anodului.

CURIOSUS : Ai multă dreptate și îți voi spune că așa cum micile variații ale potențialului de grilă determină mari variații ale curentului anodic, la tranzistor variațiile puternice ale curentului de colector se realizează prin variația slabă a curentului de bază. Vei ghici că intrarea tranzistorului este constituită din emitor și bază. Între acesta două elemente și mai precis pe bază, se aplică curenții variabili ce urmează a fi amplificați. Ieșirea este situată între colector și emitor, deoarece între acești doi electrozi circulă curentul amplificat.

SIMBOLURI PENTRU REPREZENTAREA TRANZISTORULUI

IGNOTUS : Ai putea să-mi arăți o schemă a unui etaj amplificator, echipat cu tranzistor ? Dar mai întâi, arată-mi te rog, care este simbolul grafic al acestuia.

CURIOSUS : Datorită faptului că există două tipuri de tranzistoare, sînt necesare 2 simboluri. Baza este reprezentată printr-o linie groasă neagră, emitorul are forma unei săgeți

Simboluri
de tranzistoare

îndreptate spre bază, pentru un tranzistor de tip *pnp*, aceeași săgeată fiind îndreptată în sens contrar pentru tipul *npn*.

IGNOTUS: Dacă înțeleg bine, pentru această săgeată s-a ales același sens cu cel convențional ales pentru curentul electric, adică de la pozitiv la negativ.

CURIOSUS: Exact. Cît despre colector, acesta este reprezentat printr-o altă dreaptă oblică ce intră în bază, conform desenului prezentat.

De fapt, simbolurile emitorului și colectorului ar trebui dispuse de o parte și alta a dreptei ce reprezintă baza, deoarece, aceasta este de fapt, poziția lor față de bază. Totuși, în literatură tehnică vei găsi schema în care tranzistorul este reprezentat cu colectorul și cu emitorul plasați pe aceeași parte a bazei.

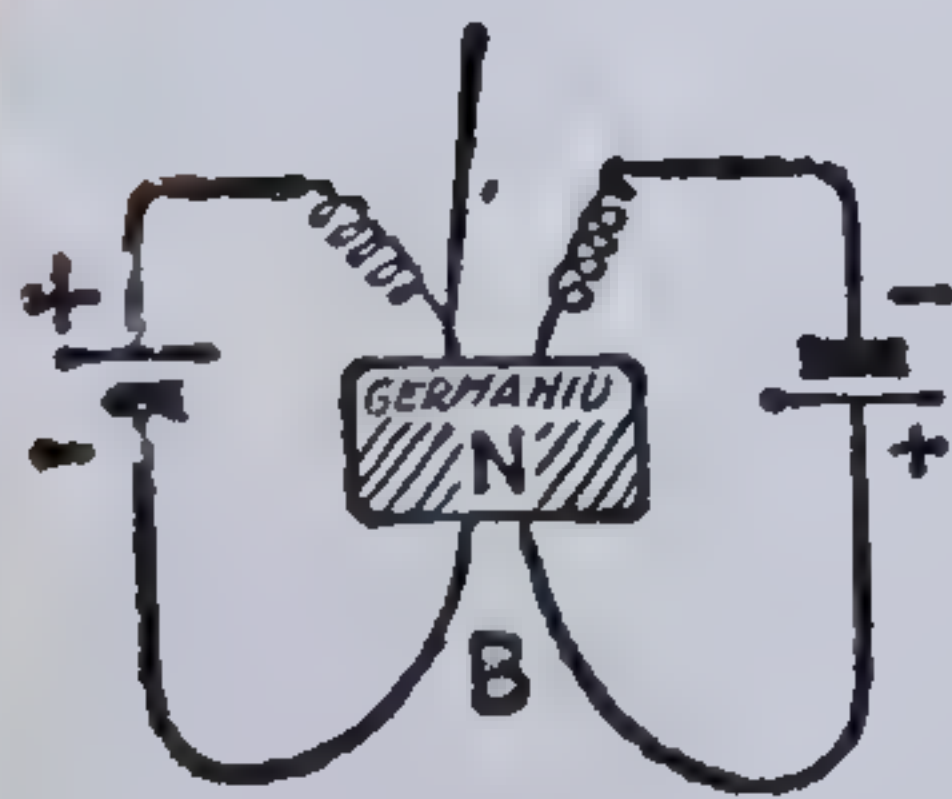
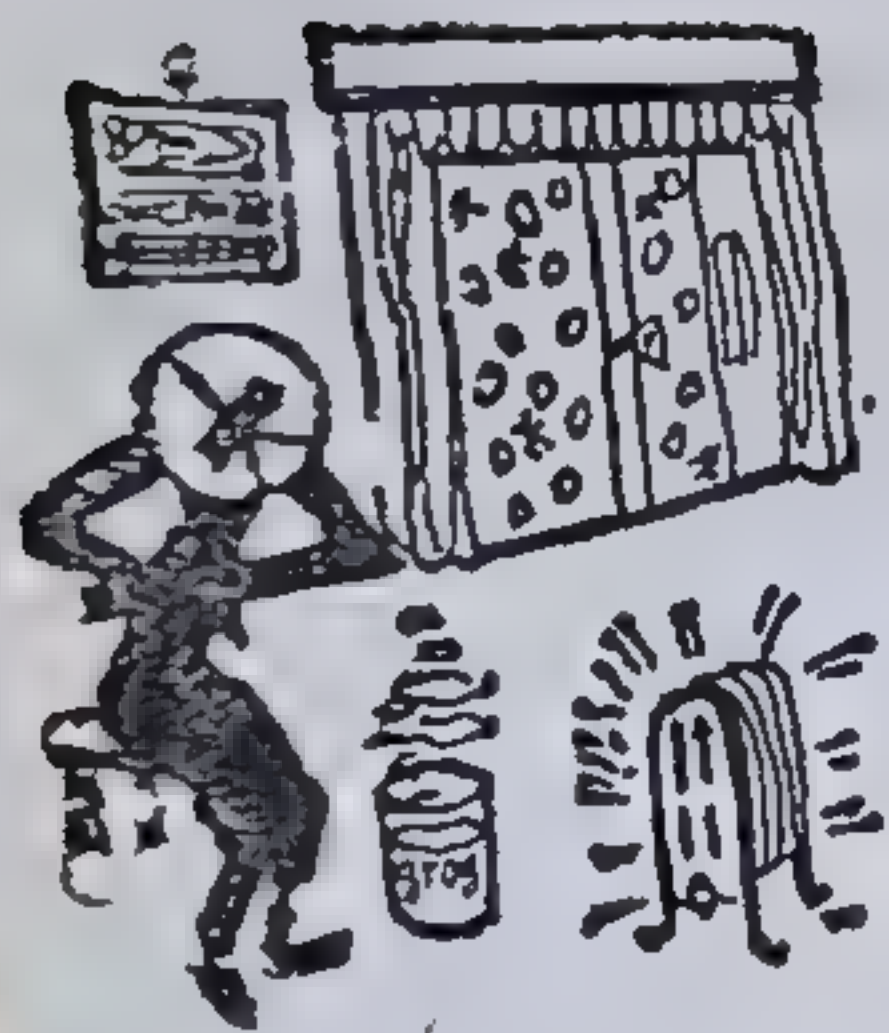
IGNOTUS: Cum se poate explica o astfel de lipsă de logică?

CURIOSUS: Este vorba de o amintire istorică. Primele tranzistoare realizate în 1948, nu posedau joncțiuni adevărate. Atît emitorul cît și colectorul erau realizați sub formă de vîrfuri metalice care se sprijineau pe un cristal de germaniu, ce servea drept bază.

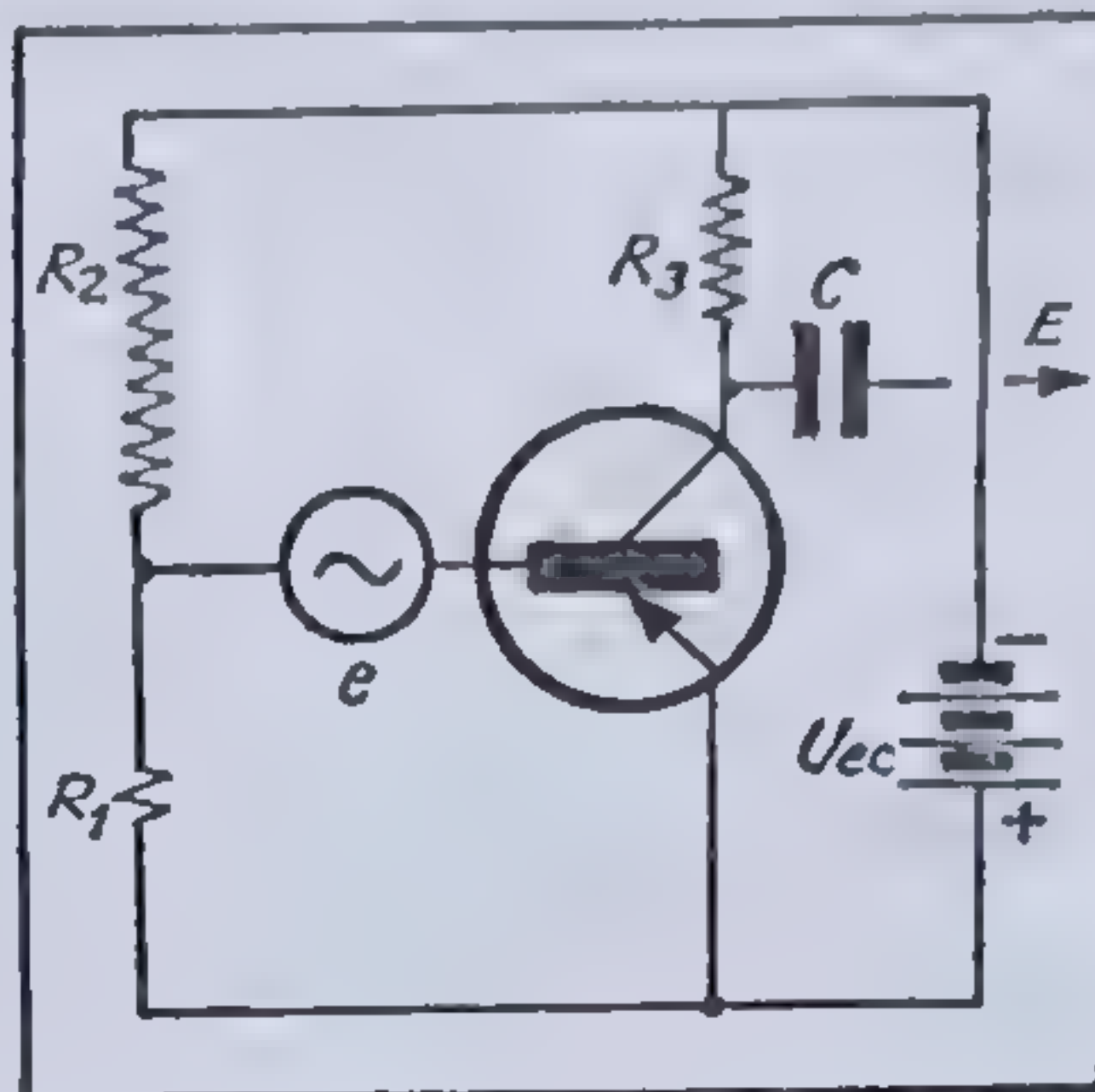
IGNOTUS: Dimpotrivă, eu îmi închipui că inventatorii tranzistorului au fost inspirați de o amintire istorică și mai veche: cea a detectorului cu galenă. Totuși, nu ar trebui să trăim tot timpul în trecut.

ETAJUL AMPLIFICATOR

CURIOSUS: Ei bine, iată și o schemă foarte generală de etaj amplificator. În această schemă, tensiunile variabile (semnalele) aplicate în intrare sînt notate cu litera *e*. Tensiunea



Schema generală a unui etaj de amplificare cu tranzistor. Tensiunea de intrare este e , iar cea de ieșire E .



amplificată obținută la ieșire, prin trecerea curentului de colector prin rezistența de sarcină R_3 , este notată cu litera E . Această tensiune variabilă de ieșire trece prin condensatorul de cuplaj C .

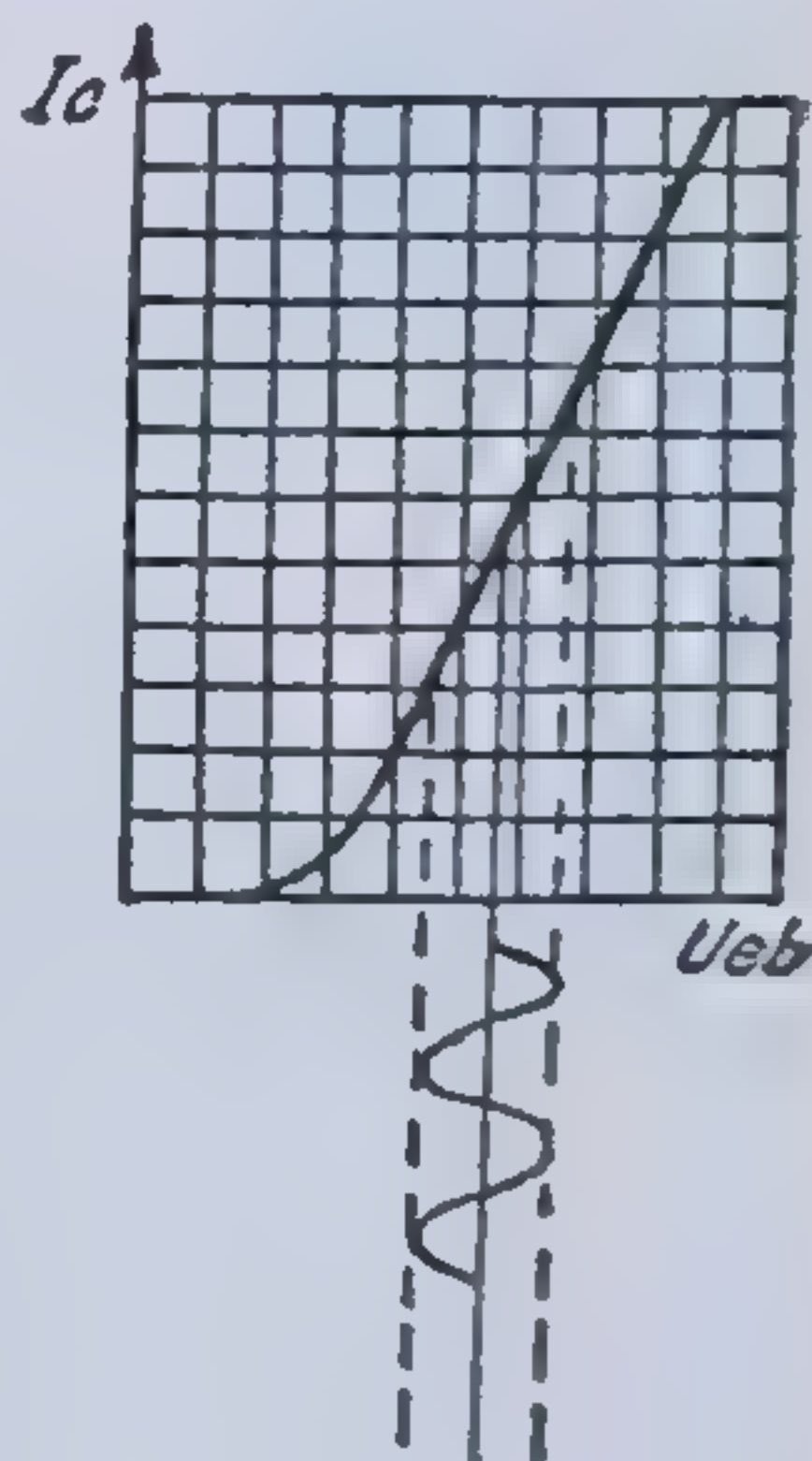
IGNOTUS : Spune-mi, te rog, la ce servesc însă rezistențele R_1 și R_2 legate în serie și care sînt legate la cei doi poli ai bateriei U_{ec} , ce alimentează emitorul și colectorul ?

CURIOSUS : Aceste două rezistențe formează un divizor de tensiune, în cazul nostru al tensiunii U_{ec} . Punctul lor comun posedă în consecință, un potențial mai puțin pozitiv decît plusul bateriei. În așa fel încît, baza tranzistorului, conectată la acest punct comun (prin sursa de semnal e) este polarizată negativ față de emitor, acesta fiind legat la polul pozitiv al bateriei.

IGNOTUS : Iată un lucru bun ! Ne putem lipsi, astfel, de bateria care polarizează baza. Și acum, dacă vrei spune-mi care sînt valorile rezistențelor ce formează acest divizor de tensiune ?

CURIOSUS : Prin acest divizor trebuie să se obțină o polarizare suficientă pentru ca pe curba ce indică variația curentului de colector, I_c , funcție de tensiunea U_{be} , punctul de funcționare să fie astfel situat, încît să se găsească pe porțiunea dreaptă a acestei curbe, destul de departe de curbura inferioară, în așa fel încît variațiile semnalului aplicat între emitor și bază să nu intre în această porțiune curbă. Se evită astfel orice fel de distorsiune.

Practic polarizarea trebuie să reprezinte o foarte mică fracțiune din valoarea tensiunii de polarizare a bateriei. Din această cauză rezistența R_1 posedă o valoare foarte mică de ordinul zecilor de ohmi, în timp ce valoarea R_2 este aproximativ de treizeci pînă la cincizeci de ori mai mare ca R_1 .



REZISTENȚELE DE INTRARE ȘI IEȘIRE

IGNOTUS : Este uimitor. Asemănarea dintre tranzistor și triodă este mult mai mare decât mi-aș fi închipuit. La triodă polarizarea grilei se realizează tot printr-o cădere de tensiune pe o rezistență. În cazul tranzistorului, de asemenea, polarizarea bazei se obține tot printr-o cădere de tensiune pe R_1 .

CURIOSUS : Ai grije, trebuie să-ți atrag atenția asupra unei anumite exagerări pe care o faci prin această totală asemănare. Între tubul cu vid și tranzistor există destule diferențe și chiar fundamentale.

În primul rând, gîndește-te la existența curentului ce circulă între emitor și bază, în interiorul tranzistorului și care revine în emitor prin R_1 , cazul tipului *npn* sau care circulă în sens invers (intră prin bază și trece în emitor) în tranzistoarele *pnp*. În ambele cazuri, curentul de bază are o valoare de ordinul zecilor sau chiar sutelor de microamperi. Adică...

IGNOTUS : ...tranzistorul se deosebește de triodă prin faptul că aceasta nu posedă curent de grilă și este polarizată astfel, încît acesta să nu existe.

CURIOSUS : Gîndește-te, Ignotus, că pentru a da posibilitatea curentului de bază să circule, sursa de semnal aplicată la intrare trebuie să cheltuiască o anumită putere. Aceasta, nu uita, este însă produsul dintre valoarea tensiunii și cea a curentului.

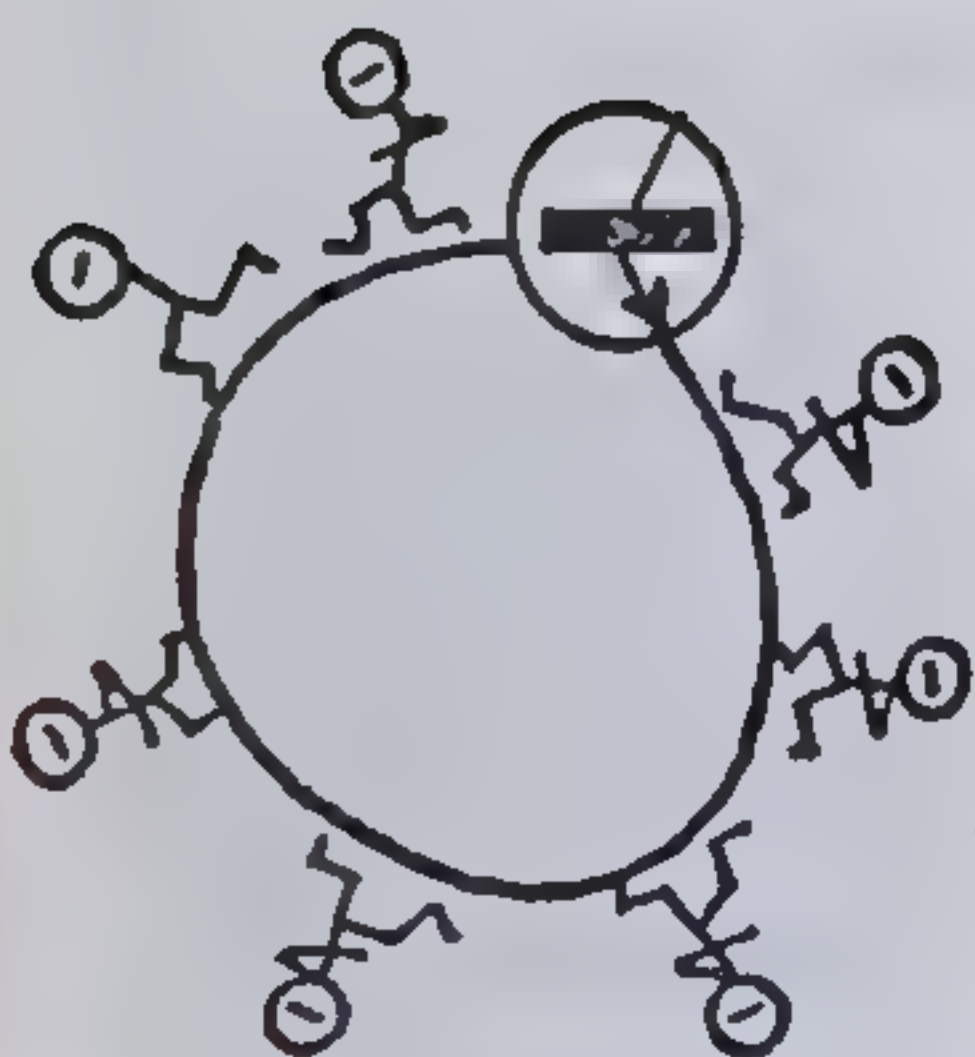
IGNOTUS : Mă gîndesc însă la alt aspect al acestui fenomen. Deoarece tensiunile aplicate între bază și emitor dau naștere unui curent, am putea calcula cu ajutorul legii lui Ohm, rezistența de intrare a tranzistorului.

CURIOSUS : Bineînțeles. Vom constata astfel că rezistența de intrare are o valoare de aproximativ cîteva sute de ohmi. Vezi dar, ce diferență există în această privință între tranzistor, triodă și celelalte tuburi amplificatoare a căror rezistență de intrare este practic infinită, deoarece acestea nu posedă curent de grilă.

IGNOTUS : Care este însă, rezistența totală a tranzistorului, adică rezistența dintre emitor și colector ?

CURIOSUS : Această rezistență poate fi considerată ca rezistență de ieșire a tranzistorului. Ea are o valoare de ordinul zecilor de kilohmi sau chiar mai mică în cazul tranzistoarelor de putere.

IGNOTUS : Din cele ce mi-ai spus îmi închipui că atunci cînd se calculează valoarea rezistenței de sarcină din colector,

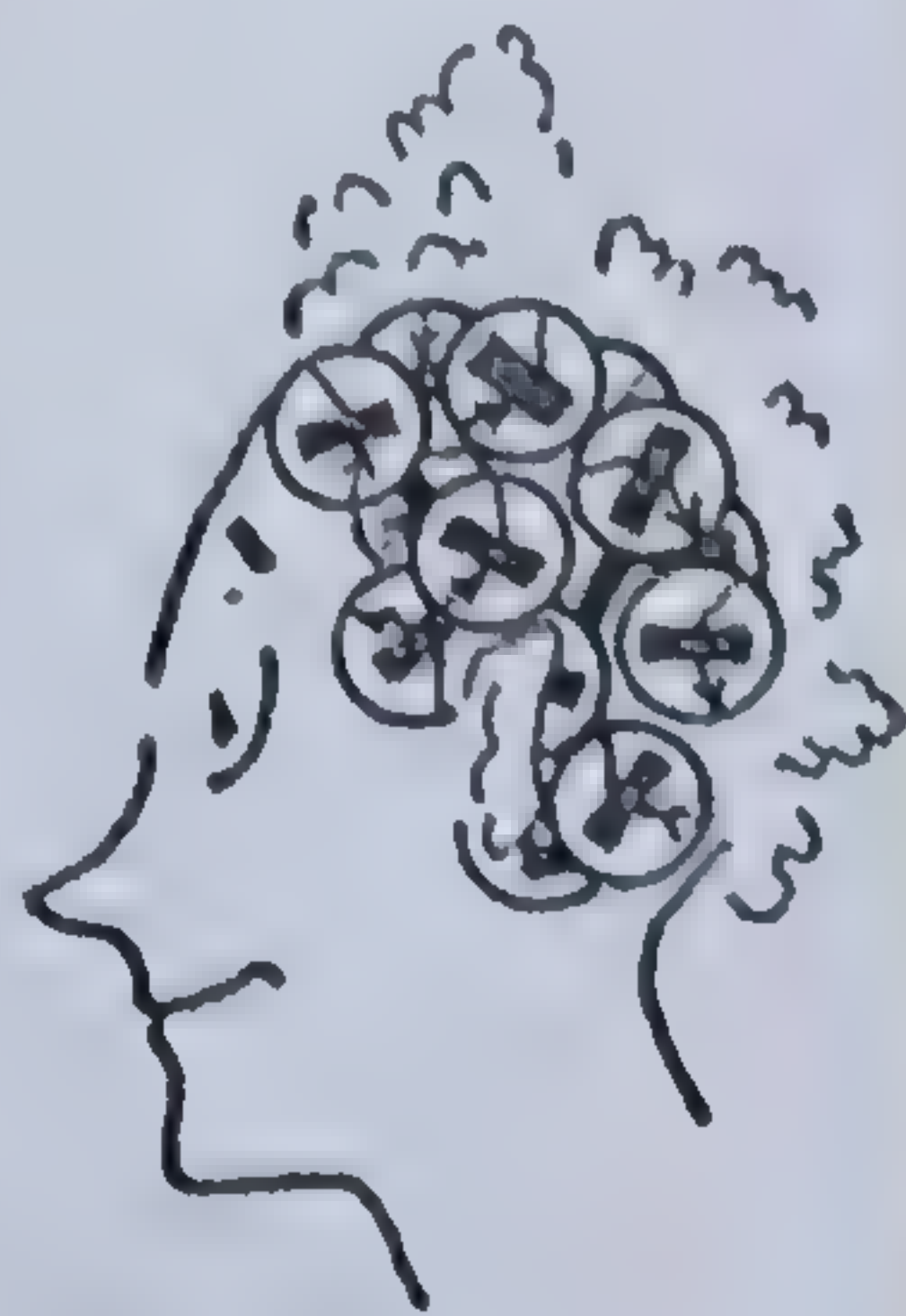


bineînțeleș, că se ține seama și de rezistența de ieșire a tranzistorului.

CURIOSUS : Bineînțeleș. Valoarea rezistenței de sarcină nu trebuie să fie prea mare, în așa fel încât tensiunile variabile (de semnal) care apar între extremitățile sale să nu inverseze (prin valorile lor de vîrf) polaritatea tensiunii de polarizare aplicată colectorului.

IGNOTUS : Încep să mă întreb dacă utilizarea tranzistoarelor nu este mult mai complexă decît a tuburilor electronice ?

CURIOSUS : Liniștește-te, dragă Ignotus. Despre aceasta vom vorbi din nou la viitoarea noastră întîlnire. Dar acum, pentru astăzi, am impresia că ți-am saturat bine mintea. Hai să ne oprim aci.



Profesorul Radiol descrie :

Tehnologia tranzistoarelor

Cum se produc diversele tipuri de tranzistoare? În ce mod se purifică materialele semiconductoare și în ce fel aceste materiale sînt transformate în monocristale? Ce procedee permit introducerea în monocristal a impurităților de polarități pozitive și negative? Care este procesul de fabricare a tranzistoarelor clasice, a celor mesa și a tranzistoarelor planar? Ce probleme ridică forma bazei în amplificarea de înaltă frecvență? În acest capitol profesorul Radiol soluționează întrebările puse mai sus.

Am ascultat cu interes conversația voastră consacrată tranzistoarelor. Și am constatat cu satisfacție modul în care Curiosus, ți-a expus toate noțiunile fundamentale relative la aceste componente active, care au înlocuit, în foarte scurt timp, în majoritatea aparatelor electronice, tuburile electronice cu vid.

Cred, dragă Ignotus, că ai înțeles foarte bine faptul că semnalele variabile aplicate între emitor și bază determină un curent de bază care, la rîndul său, dă naștere unui curent de colector.

Se poate spune că factorul de amplificare al unui tranzistor este determinat de raportul dintre variația curentului de colector și variația curentului de bază, care i-a dat naștere.

PURIFICAREA MATERIALELOR SEMICONDUCTOARE

Îmi închipui că ați dori acum să cunoașteți atît modul în care se produc, precum și tipurile tranzistoarelor. De asemenea voi încerca să vă descriu tehnologia și caracteristicile esențiale ale acestora.

Ca material de bază pentru fabricarea tranzistoarelor se folosește germaniul sau siliciul. În ambele cazuri se pleacă de la materiale semiconductoare foarte, foarte pure și perfect cristaline.

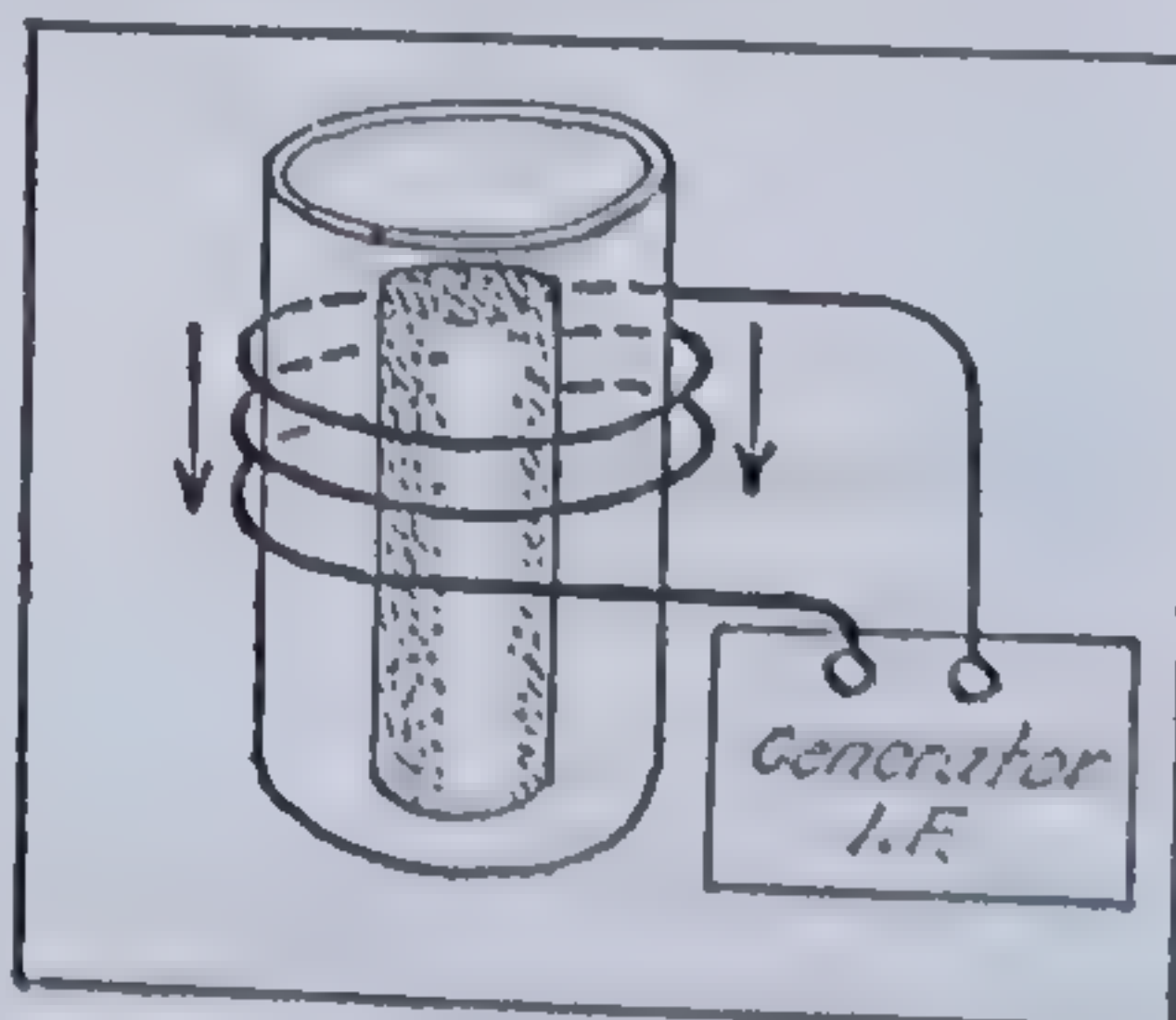
Pentru eliminarea impurităților nedorite, se folosește metoda *încălzirii zonare*, metodă prin care se realizează încălzirea *unei singure zone*. În acest scop, se plasează un baton de material semiconductor într-un creuzet de cuarț așezat orizontal, încălzindu-se o zonă foarte redusă a acestui creuzet, pînă la topirea materialului semiconductor din această porțiune. Apoi foarte lent se deplasează zona lichidă a materialului semiconductor. În concluzie ce se întîmplă?

Impuritățile nedorite din germaniu sau siliciu au tendința să rămînă în zona topită. Cu alte cuvinte, deplasînd batonul semiconductor odată cu creuzetul, de la un cap la celălalt al creuzetului prin dreptul instalației de topire, impuritățile se vor strînge toate în zona lichidă și astfel se vor comasa la capul posterior al batonului. Extremitatea acestuia unde s-au strîns impuritățile se taie. Restul de material semiconductor este astfel perfect purificat, în așa fel încît la 100 milioane de atomi de semiconductor mai rămîne numai un singur atom de impuritate.

ÎNCĂLZIREA LA ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Poate veți dori să știți modul în care se realizează încălzirea zonală a materialului semiconductor pînă la o temperatură ce atinge, pentru siliciu, 940°C ?

Din nou se face apel la electronică. Și iată cum: creuzetul este introdus, cu porțiunea ce urmează a fi încălzită, într-o bobină, parcursă de un curent de înaltă frecvență de o intensitate foarte mare. Acest curent induce în masa materialului



Purificarea materialului semiconductor prin procedeul topirii zonare. Topirea se realizează cu ajutorul curenților de înaltă frecvență induși de bobină în materialul semiconductor.

semiconductor curenți ce provoacă topirea sa. Bobinajul se deplasează încet de-a lungul creuzetului, fapt care antrenează deplasarea corespunzătoare a zonei topite.

Încălzirea prin câmp magnetic, indus de curenții de înaltă frecvență, câmp care la rîndul său dă naștere în masa materialului semiconductor unor curenți tot de înaltă frecvență, este cu totul deosebită de încălzirea obținută cu ajutorul flăcărilor. Acestea ridică temperatura suprafeței și de aci prin conductibilitatea termică, căldura se dezvoltă imediat chiar în interiorul corpului încălzit.

Diferența constă în faptul că la încălzirea prin curenți de înaltă frecvență, căldura se dezvoltă imediat chiar în interiorul corpului încălzit.

Mai pot adăuga, că această metodă de încălzire poate fi utilizată și în cazul materialelor dielectrice; în acest caz însă, în corpul ce urmează a fi încălzit, se creiază un câmp electric (și nu unul magnetic). Corpul respectiv se plasează între armăturile unui condensator, căruia i se aplică tensiunea de înaltă frecvență. Exact același procedeu se aplică și în cazul terapiei sub numele de *diatermie de înaltă frecvență*.

MODUL DE OBTINERE A UNUI MONOCRISTAL

Să revenim acum la dragele noastre semiconductoare. Din momentul în care sînt bine purificate, trebuie să le asigurăm și perfectă lor cristalizare.

În realitate un material semiconductor este compus dintr-o acumulare de cristale mai mari sau mai mici, reunite în mod dezordonat. Ori, o astfel de ansamblare trebuie preschimbată într-un *monocristal*, în care structura cristalină este perfect omogenă în toată masa corpului.

În acest scop, se va topi din nou toată masa semiconductorului, operație ce se va realiza tot cu ajutorul curenților de înaltă frecvență. Materialul semiconductor se plasează într-un creuzet, de data aceasta vertical, care este introdus în întregime în bobina de înaltă frecvență. După ce materialul din interiorul creuzetului s-a topit, se introduce la suprafața acestuia un cristal minuscul care servește de germene (nucleu) cristalizării perfecte a semiconductorului.

În perioada în care semiconductorul se găsește în stare lichidă, în creuzet se introduce cantitatea necesară de impurități n sau p , conform tipului de material semiconductor pe care

dorim să-l obținem și din care se vor produce viitoarele tranzistoare.

După răcire dispunem de un monocristal care cântărește nici mai mult nici mai puțin de câteva kilograme. Acesta va fi tăiat, întâi în foarte multe felii, care la rândul lor vor fi tăiate în bucățele de formă pătrată. Fiecare pătrățel va forma un tranzistor. Cu excepția tranzistoarelor de putere, aceste pătrățele au laturile de aproximativ 2 mm, în timp ce grosimea lor este de ordinul zecimii de milimetru.

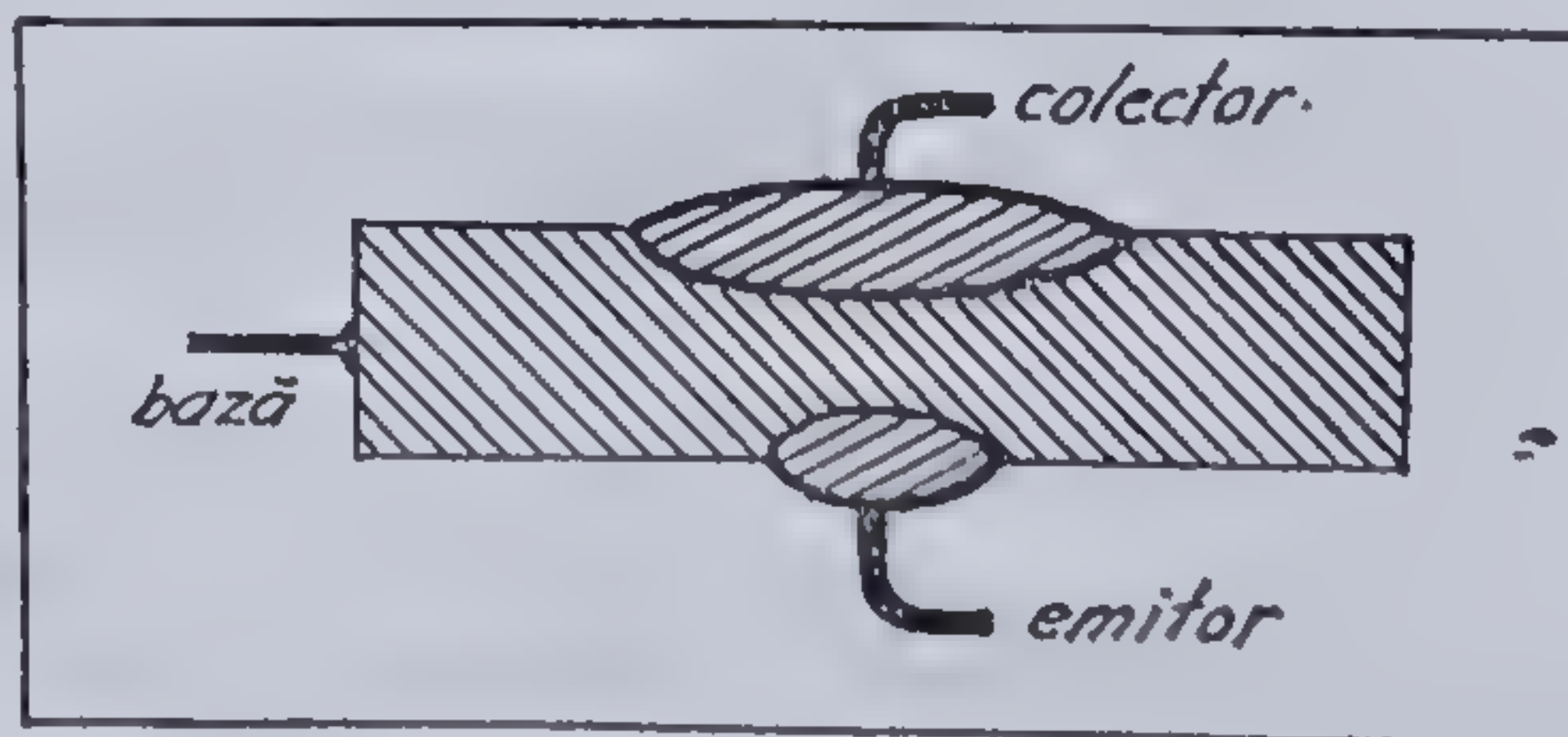
ALIERE SAU FUZIUNE

Iată-ne deci în posesia pieselor care vor forma baza.

Ne întrebăm acum, care este procedeul prin care se produc tranzistoarele? Veți ghici fără prea mult efort, că mai întâi, este necesar să dispunem, pe ambele fețe ale bazei de impurități de tip opus, celor conținute de ea.

În acest scop s-au pus la punct mai multe metode. Dacă avem o bază de tip n din germaniu, vom depune pe fețele ei opuse pastile de indiu, acesta fiind o impuritate de tipul p . Vom încălzi totul la temperatura de 600°C , temperatură la care indiul începe să se topească, dar nu și germaniul a cărui temperatură de topire este, după cum știți, 940°C . Atomii de indiu topit intră în germaniu care-i primește, datorită agitației termice a moleculelor sale, creiată de ridicarea temperaturii.

Disponerea în spațiu a celor trei elemente ce constituie un tranzistor.



Se formează astfel în bază de o parte emitorul, de cealaltă colectorul. Acesta trebuie să aibă un volum mult mai mare decât emitorul, deoarece curenții ce-l parcurs, disipă aci o putere mai mare.

În sfârșit, fiecare dintre cei trei electrozi i se sudează conexiuni.

DIFUZIA ȘI ELECTROLIZA

Procedeul de formare a emitorului și colectorului descris mai sus servește numai la fabricarea prin *aliere* sau *fuziune* a tranzistoarelor. Aceste dispozitive pot fi obținute însă, și prin *difuzie*. În acest scop, semiconductorul, respectiv baza, este încălzit la temperatură apropiată de cea de fuziune într-o atmosferă de gaz neutru, gaz ce conține însă vapori de impurități ce servesc la formarea emitorului și colectorului. Atomii acestor impurități pătrund foarte ușor în semiconductor.

Adâncimea de pătrundere în semiconductor a acestor impurități depinde de dozajul vaporilor (conținutul lor de impurități) și de durata operației. Acești doi factori determină grosimea bazei.

Procedeul de difuzie se potrivește foarte bine la fabricarea tranzistoarelor de putere, deoarece permite introducerea atomilor de impurități pe suprafețe mari, ceea ce servește la formarea unor emitori și colectori de dimensiuni suficiente pentru a permite trecerea curenților de valori importante.

Un procedeu asemănător cu cel al difuziei este și metoda *electrolitică*, metodă prin care semiconductorul este supus unui jet foarte puternic de lichid, ce conține impurități de tip opus celor conținute de bază.

Pe scurt, vedeți, că pentru fabricarea tranzistoarelor se utilizează corpurile solide (aliaje), cele lichide (electroliza), precum și cele gazoase (difuzia).

După realizarea sa printr-unul din procedeele menționate, tranzistorul este închis într-o capsulă etanșă și opacă, pentru a nu fi accesibil luminii, care ar putea determina apariția fenomenelor fotoelectrice.

În capsulă se realizează vid sau se introduce un gaz neutru, ca de exemplu azotul, astfel încât oxigenul din aer să nu poată oxida germaniul sau siliciul.

La tranzistoarele de putere capsula este astfel concepută încât să disipe cât mai bine căldura, pentru a împiedeca încălzirea excesivă a semiconductorului. O astfel de capsulă metalică de dimensiuni mari constituie un adevărat radiator de căldură.

TRANZISTORUL DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ PUNE PROBLEME

În schimb tranzistorul de înaltă frecvență (I.F.) poate fi închis într-o capsulă foarte mică. În cazul acestuia nu se pune problema încălzirii. Totuși se pune problema grosimii bazei.

Dacă această grosime este foarte mică, între emitor și colector se formează o capacitate destul de mare. În acest caz, curenții de înaltă frecvență în loc să treacă prin cele două joncțiuni, trec prin această capacitate, direct din emitor în colector, care formează într-un fel, armăturile unui condensator.

În acest caz s-ar putea propune, pentru eliminarea acestei capacități, mărirea grosimii bazei. Ar fi bineînțeles soluția pe care desigur ai propune-o, Ignotus. Să vedem în ce măsură această soluție este rațională.

Mărind distanța dintre emitor și colector, veți obliga electronii să parcurgă un drum mai lung. Ori, în semiconductor, viteza electronilor și golurilor este destul de mică, fiind de ordinul a patruzeci de kilometrii pe secundă.

Să presupunem că grosimea bazei este de 0,1 milimetri. Pentru a parcurge această minuscule distanță, electronii au nevoie de 2,5 microsecunde. Această perioadă este exact durata alternanței unei tensiuni variabile, ce posedă o frecvență de 200 kHz, ceea ce corespunde unei lungimi de undă de 1 500 metri. Vedeți deci, că pentru o astfel de grosime a bazei, se pot amplifica numai semnale ce corespund lungimilor mari de undă.

Iată că, la tranzistoarele de I.F., grosimea, bazei trebuie redusă la dimensiuni foarte mici. Pentru o bază de 0,001 milimetri, se pot recepționa semnale cu lungimi de undă de 1,5 metri. Dar pentru undele decimetrice, utilizate în televiziune, grosimea bazei trebuie redusă și mai mult.

În concluzie sîntem în prezența unor exigențe opuse: pentru micșorarea capacității emitor-colector, grosimea bazei trebuie crescută; în schimb pentru traversarea ei rapidă de către electroni și goluri, această grosime trebuie să fie redusă cît mai mult.

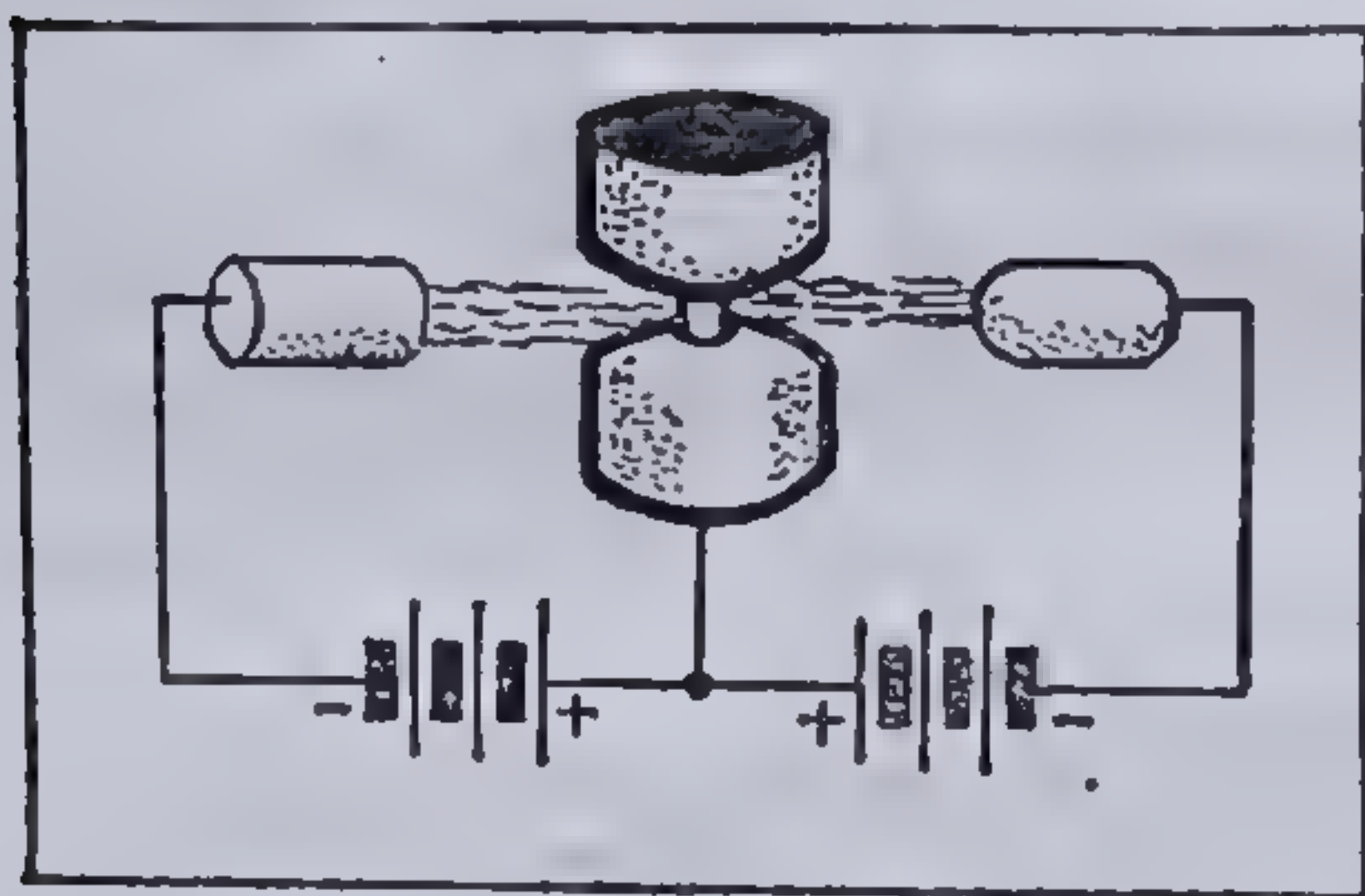
SOLUȚIA PROBLEMEI

Care este soluția acestei dileme?

Foarte simplă și elegantă. Se micșorează valoarea capacității, fără însă să se mărească grosimea bazei sau distanța dintre armături, reprezentate aci prin emitor și colector. Se micșorează, în schimb cît mai mult posibil suprafețele celor două joncțiuni, adică a armăturilor.

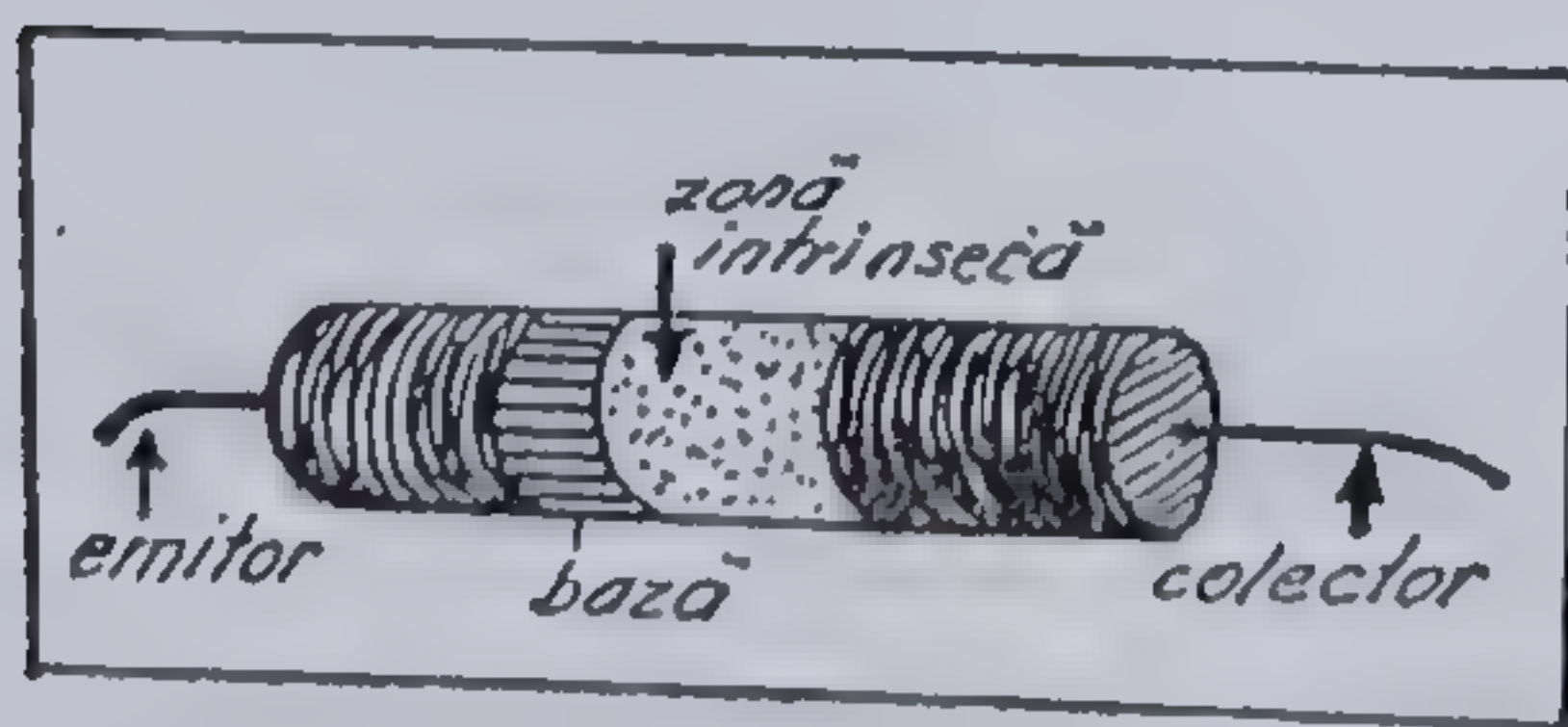
În acest scop, impuritățile care formează emitorul și colectorul se introduc în bază sub forma unor conuri al căror vîrf este îndreptat spre ea.

Operația constă în proiectarea pe cele două suprafețe ale bazei a două jeturi lichide care, sub acțiunea unei tensiuni electrice, provoacă electroliza, operație ce corodează semiconductorul, săpînd astfel în acesta veritabile cratere, sau micșorînd cît mai mult dimensiunea bilelor de indiu care prin aliere formează colectorul și emitorul. Tehnologia primei metode este următoarea : în momentul în care vîrfurile craterelor sînt suficient de apropiate, se inversează tensiunea electrică aplicată și se introduce în lichidul respectiv o cantitate suficientă de impurități care, prin electroliză, creiază în vîrfurile craterelor, prin depunere, emitorul și colectorul.



Jetul de lichid prin care se produce electroliza.

Mai există și un alt tip de tranzistoare de înaltă frecvență la care porțiunea bazei mai apropiată de emitor este îmbogățită în impurități, fapt ce permite amplificarea unor frecvențe mai ridicate. Ele se numesc tranzistoare *drift* și prin caracteristicile care le posedă permit recepția undelor decimetrice.



Între baza și colectorul tranzistorului s-a introdus o zonă semiconductoră intrinsecă, zonă ce îmbunătățește performanțele în amplificarea de I.F.

În acest sens se poate merge și mai departe, intercalînd între bază și colector, o zonă denumită *intrinsecă*. Aceasta este compusă dintr-un strat de germaniu sau de siliciu foarte pur, acesta fiind un conductor electric mediu. Zona respectivă

are însă meritul de a se interpune între stratul foarte subțire al bazei și colector, fapt ce micșorează capacitatea colector-emitor și permite amplificarea unor frecvențe foarte înalte.

TRANZISTOARE MESA

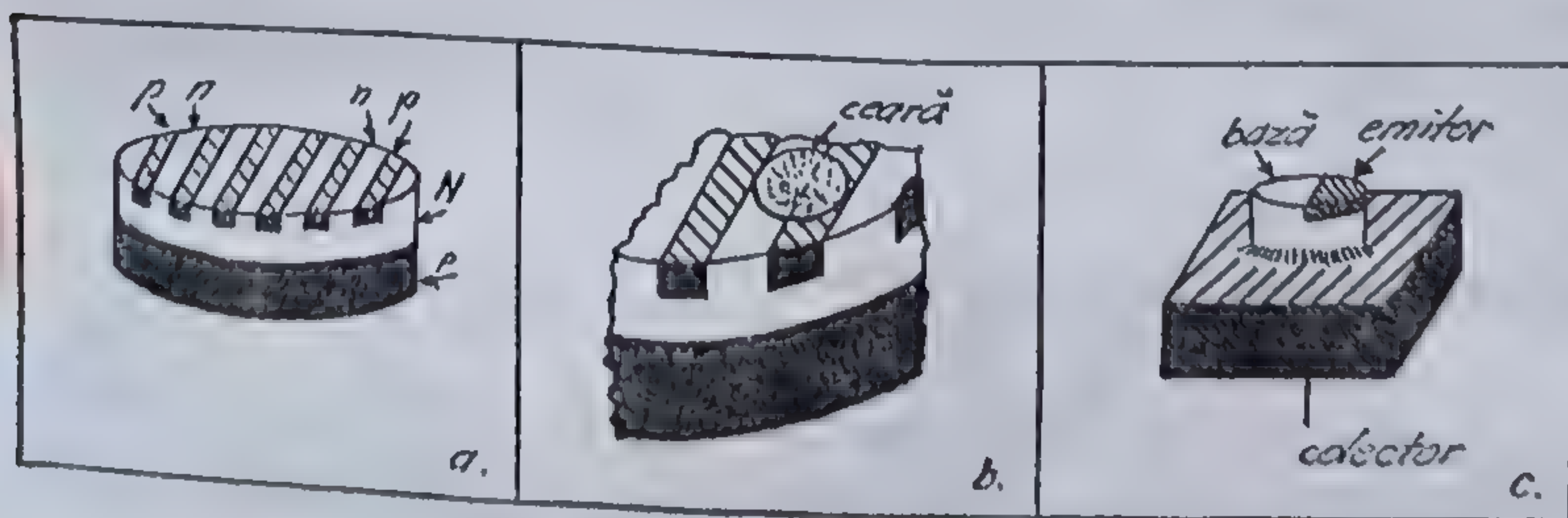
Un alt tip de tranzistoare care pot amplifica frecvențe de ordinul miilor de megaherți sînt tranzistoarele mesa. Ele sînt utilizate în circuitele de intrare ale unor televizoare.

Se realizează în felul următor : pe un bloc de germaniu de tip p , care va forma colectorul, se sudează pe fața sa inferioară o foiță de aur, ce va forma o conexiune. Apoi se difuzează prin vapori pe cealaltă față antimoniu (impurități n). Aceste impurități de tip n , a căror densitate va fi mult mai mare la suprafață, vor constitui baza. Operația următoare constă în difuzarea pe aceiași suprafață (peste antimoniu) a unor impurități de tip p , în general aluminiu, impurități ce vor forma emitorul. Această ultimă difuzie se realizează numai parțial, adică numai pe anumite porțiuni. Aluminiul se depune astfel, sub forma unor benzi înguste.

Odată realizate aceste operații, pe suprafața respectivă se depun picături minuscule de ceară, care acoperă atît porțiunile care formează emitorul p cît și cele care formează baza n . Se atacă apoi semiconductorul cu un acid care corodează toate depunerile bază și emitor, în afară de cele protejate de ceară.

Din acest moment, nu mai rămîne decît decuparea din blocul de Ge a tranzistoarelor a căror emitori și baze formează pe suprafața colectorului, o mică ridicătură.

Acesta este motivul pentru care acest tip de tranzistoare se numesc mesa, cuvînt care în America de Sud înseamnă „munte”.



Faze succesive din tehnologia de fabricație a tranzistoarelor mesa.

rului. Acest bioxid de siliciu este cunoscut mai bine sub denumirea de cuarț.

Dacă dorim mărirea puterii disipate a tranzistorului planar trebuie în principiu, să mărim suprafața joncțiunii emitor-bază ; se mai poate însă, pentru realizarea aceluiași lucru, alungi linia de contact între emitor și bază, realizînd emitorul nu sub forma unui mic cerc, ci sub forma unei stele sau a unui zig-zag închis.

UTILIZAREA PELICULEI FOTOSENSIBILE

După ce ați ascultat toate explicațiile mele și ați constatat numărul impresionant de operații pe care-l necesită fabricarea tranzistorului, vei gădi desigur dragă Ignotus, că prețul său de cost trebuie să fie foarte ridicat. Țin însă să te liniștesc.

Simultan se produc zeci sau chiar sute de astfel de tranzistoare, dintre care unele modele sînt microminiaturizate. În acest scop se utilizează procedee împrumutate fotogravurii și care mai servesc și la realizarea circuitelor integrate, circuite despre care vom vorbi mai departe.

Trebuie să știți că orificiile prin care se realizează conexiunile, se obțin prin acoperirea mai întîi a unor porțiuni ale suprafeței cu o peliculă fotosensibilă care, sub efectul luminii, devine solidă și nu poate fi dizolvată în cazul cufundării sale într-un solvent special. În așa fel încît părțile suprafeței care au fost luminate sînt protejate împotriva dizolvării de către acest lac solidificat, provenit din pelicula solidificată.

Ei bine, acum veți ghici că ceea ce se proiectează în acest scop pe peliculă, sînt imaginile luminoase ale porțiunilor stratului epitaxial care nu trebuie corodate sau îndepărtate prin atacul chimic. În mod obișnuit, proiectarea luminii se face prin anumite obiective ce permit reducerea imaginilor, fapt ce facilitează mult efortul microminiaturizării.....

V-aș mai putea vorbi încă și despre alte tranzistoare, ca de exemplu cele a căror funcționare se bazează pe efectul de cîmp. Dar nu vreau să vă mai obosesc și deaceea vă părăsesc. Puteți opri magnetofonul.

Convorbirea a 11-a

Tranzistoare cu efect de câmp

Principiul de funcționare a tranzistoarelor cu efect de câmp este cu totul diferit de cel al tranzistoarelor clasice studiate mai înainte de cei doi prieteni ai noștri. Din anumite puncte de vedere, prin proprietățile care le posedă, aceste tranzistoare speciale se aseamănă și mai mult cu triodele cu vid. În dialogul care urmează se vor studia mai întâi structura și diverșii parametrii ale acestor tranzistoare, după care se va examina utilizarea lor practică.

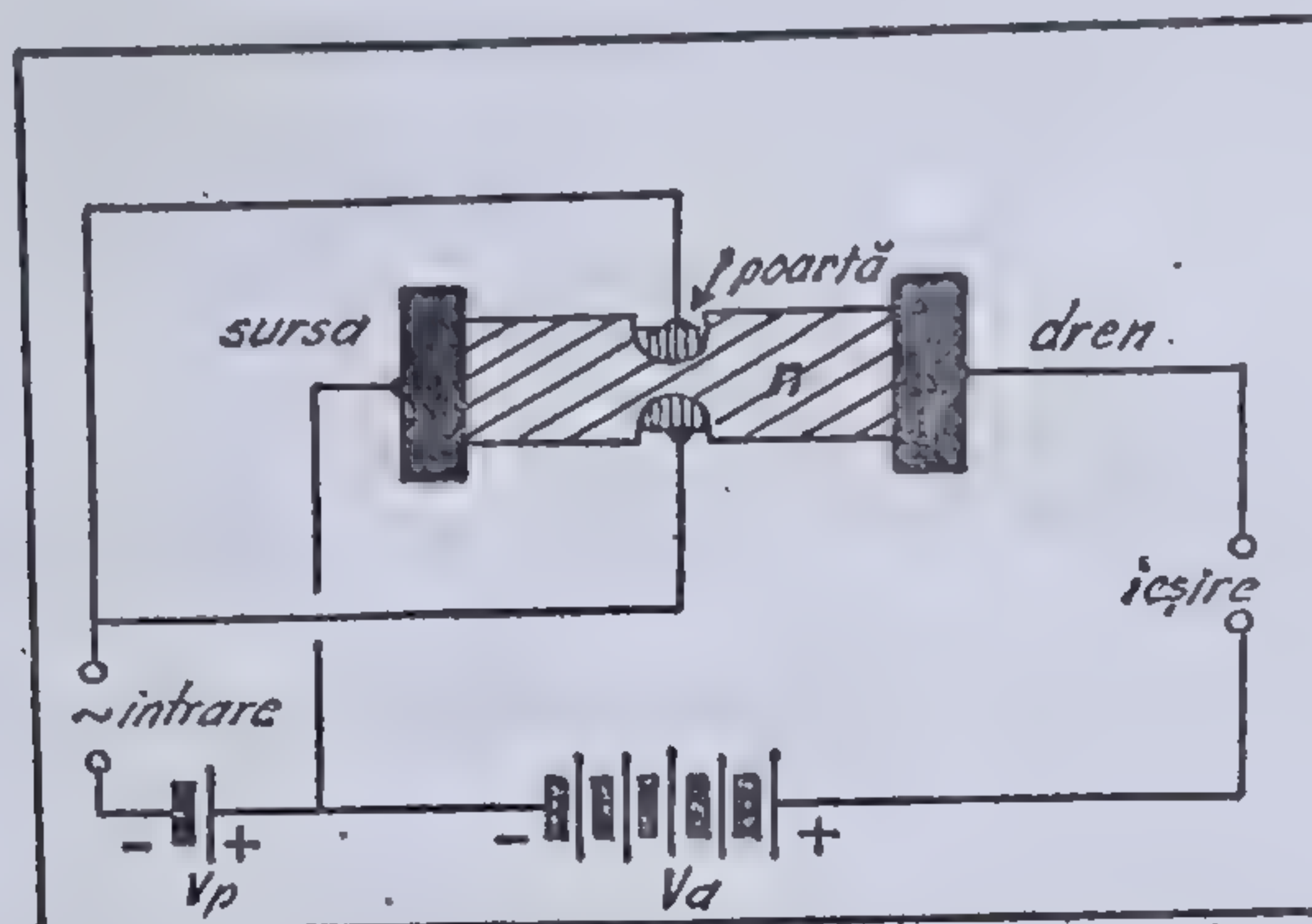
EFFECTUL DE GÎTUIRE

IGNOTUS : Unchiul dumitale a menționat într-o convorbire anterioară, existența tranzistoarelor cu efect de câmp. Îmi imaginez că acestea se obțin prin introducerea unui semiconductor într-o bobină, a cărui câmp electric acționează asupra.....

CURIOSUS : Oprește-te, dragul meu. Aci e vorba de acțiunea unui câmp electric. Tranzistorul cu efect de câmp nu se aseamănă în nici un fel cu cele care le-am studiat pînă acum. El nu posedă, cele trei secțiuni care formează emitorul, baza și colectorul.

Tranzistorul cu efect de câmp este compus dintr-o plachetă de material semiconductor, în general de tip n , care în porțiunea din mijloc, are o grosime foarte redusă. În această porțiune subțiată este plasat electrodul care dă naștere câmpului electric. Pentru semiconductorul de tip n , acest câmp trebuie să posede o polaritate negativă, astfel încît să se opună mai mult sau mai puțin trecerii electronilor între cele două extremități ale semiconductorului sau cu alte cuvinte prin conductor.

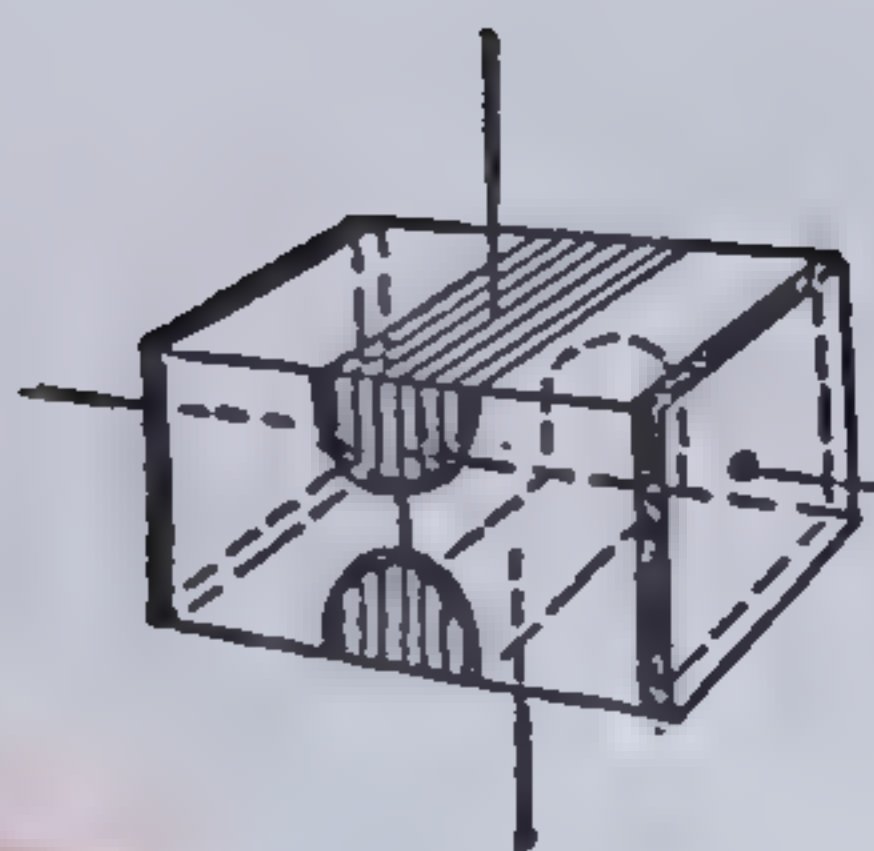




Tranzistor cu efect de câmp, ce utilizează un semiconductor de tip n.

IGNOTUS : Dacă înțeleg bine, acest câmp negativ, gîtuie sau mai bine zis strangulează, într-un fel, fascicolul de electroni care se deplasează dinspre extremitatea negativă spre extremitatea pozitivă a semiconductorului.

CURIOSUS : Ceea ce ai spus este însăși principiul de funcționare a tranzistorului cu efect de câmp. Acțiunea câmpului electric exterior asupra intensității curentului ce parcurge semiconductorul, reprezintă exact fenomenul de simplificare a acestui tip de tranzistor. Tensiunile variabile (semnalele) ce urmează a fi amplificate se aplică între electrozii ce creiază câmpul electric și una din extremitățile semiconductorului. Aceasta constituie intrarea. Ieșirea este constituită de un circuit exterior, plasat între extremitățile semiconductorului.



ÎNRUDIREA CU TRIODA

IGNOTUS : Tranzistorul acesta se aseamănă însă uimitor cu trioda ! În aceasta, tensiunea ce urmează a fi amplificată este aplicată între grilă și catod. Variațiile potențialului de grilă se opune mai mult sau mai puțin trecerii fluxului de electroni dinspre catod spre anod.

Aceleași efecte sînt produse în tranzistorul acesta, de către electrodul care, între cele două extremități, se opune mai mult sau mai puțin, trecerii electronilor corespunzător potențialului ce i se aplică.

În aceste condiții, îmi închipul, că una din extremitățile semiconductorului poate fi denumită catod, iar cealaltă anod, iar electrodul care produce câmpul electric, grilă.

CPRIOSUS : Analogia pe care ai enunțat-o este perfect exactă. Dar cu toate acestea ca nu a reușit să boteze părțile

constitutive ale acestui tranzistor cu denumirile date părților componente ale triodei.

Electrodul care produce cîmpul electric, ce deschide sau închide poarta prin care trece curentul este denumit *grilă* sau *poartă*. Foarte des în locul termenului românesc de grilă sau poartă, se citează echivalentul său englez și anume *gate*.

Extremitatea semiconductorului pe care se aplică tensiunea de intrare sau de amplificare este denumită *sursă*. Extremitatea semiconductorului opusă sursei și anume cea de pe care se culege curentul amplificat poartă numele de *drenă* (drain). Porțiunea din semiconductor prin care trece curentul se numește *canal*.

IGNOTUS : Văd că pe schema respectivă între sursă și grilă, am conectat în serie două tensiuni : o tensiune continuă V_p de polarizare a porții și o tensiune variabilă aplicată în intrare și care este amplificată de acest tranzistor. Îmi închipui că, tensiunea continuă de polarizare are o valoare destul de mare pentru ca alternanțele tensiunii de intrare să nu inverseze la un moment dat polaritatea grilei sau a porții.

În cazul nostru, poarta este polarizată negativ. În acest moment trebuie evitate alternanțele pozitive ale tensiunii de intrare care depășesc tensiunea de polarizare, V_p .

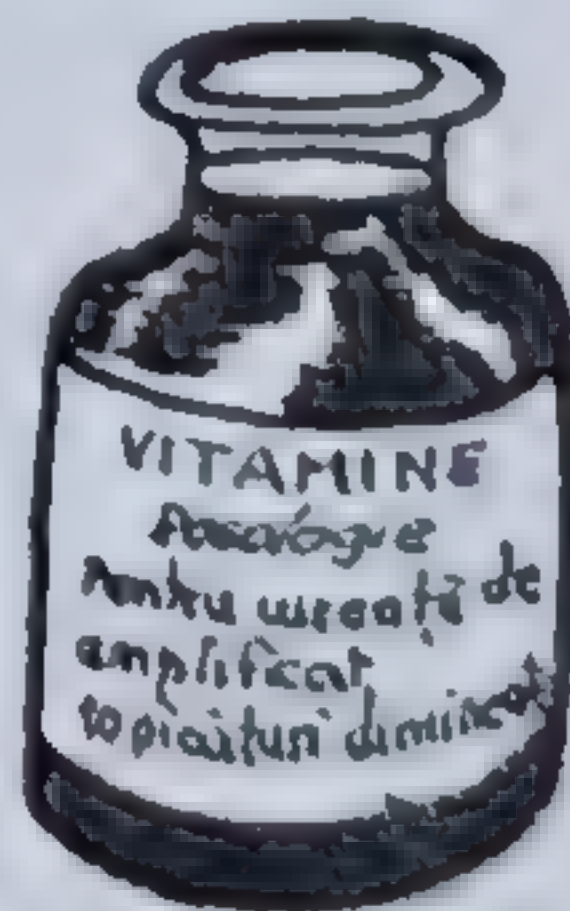
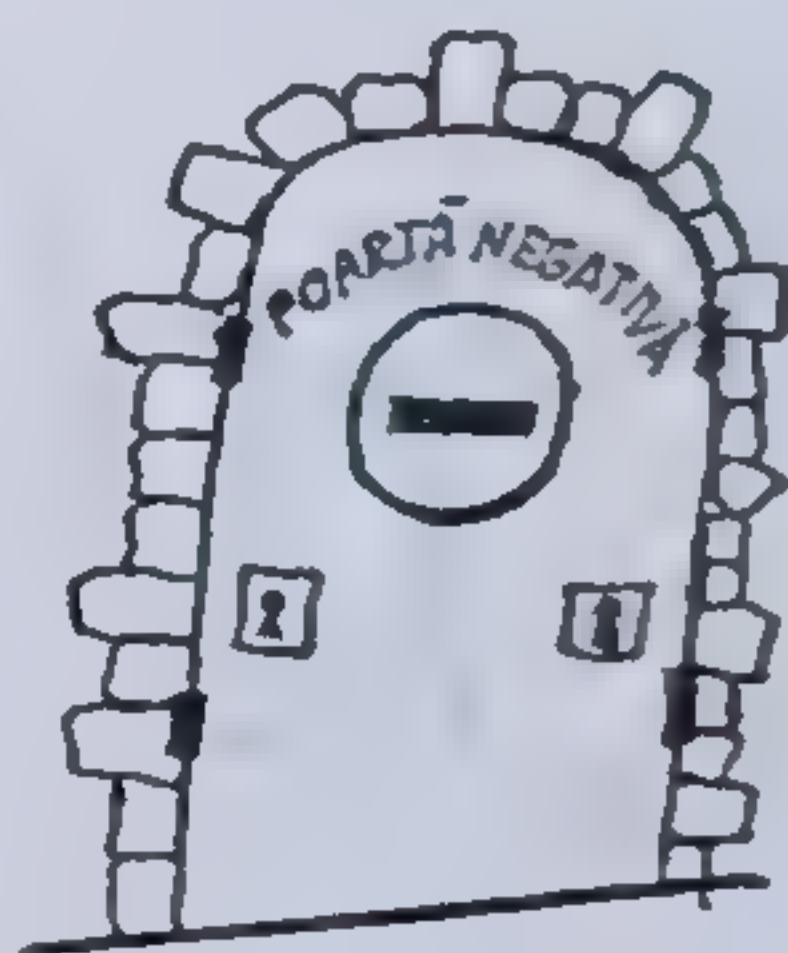
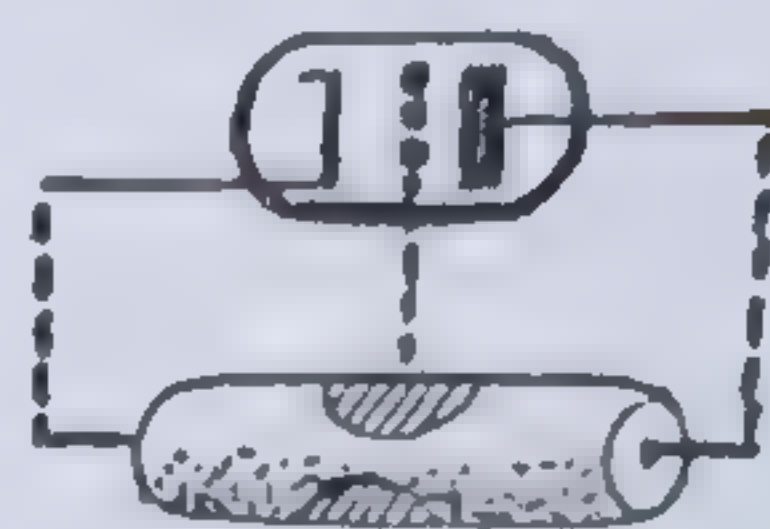
CURIOSUS : După cele discutate, s-ar spune, dragă Ignotus, că tu ai și utilizat tranzistoare cu efect de cîmp.....

REZISTENȚA DE INTRARE INFINITĂ

IGNOTUS : Nu încă. Dar sper că într-o zi se va întâmpla și aceasta. Așteptînd ziua aceea, ași vrea să știu dacă tensiunea V_p dă naștere unui curent care să circule între sursă și grilă.

CURIOSUS : Nici pomeneală ! De fapt, în aceste tranzistoare, grila sau poarta este formată din impurități opuse celor semiconductorului de bază și care au fost introduse în acesta prin difuzie. În momentul în care semiconductorul de bază este de tipul n , grila este formată din două zone cu impurități p . Ori, în cazul în care joncțiunile $p-n$, astfel formată i se aplică o tensiune care negativizează porțiunea p față de porțiunea n , joncțiunea constituie pentru curent, un obstacol de netrecut. În orice caz, curentul care ar trece ar fi neglijabil, fiind de ordinul nanoamperului (10^{-9} A).

De altfel există tranzistoare cu efect de cîmp la care grila este constituită din plăci de aluminiu separate de semicon-



ductor, prin niște straturi foarte subțiri de material izolant, ca de exemplu bioxidul de siliciu.

IGNOTUS : Din ce în ce mai mult constat cât de mare este asemănarea între tranzistorul cu efect de câmp și triodă. În aceasta din urmă, între grilă și catod nu trece nici un fel de curent. În acest scop, grila este polarizată negativ față de catod. Amplificarea se datorește numai variației curentului anodic, provocată de variațiile potențialului grilei.

La tranzistorul cu efect de câmp, de asemenea, în circuitul de intrare, respectiv între sursă și grilă nu există nici un fel de curent. Potențialele variabile ale grilei determină variațiile intensității curentului de drenă sau de canal.

Fenomenele ce se petrec în aceste tranzistoare sînt mult mai avantajoase decît cele din tranzistoarele ordinare, în care curenții de intrare care trebuie amplificați se obosesc prin creșterea curentului bază-emitor, fapt ce necesită o pierdere de putere.

CURIOSUS : Acesta este într-adevăr motivul pentru care tranzistoarele cu efect de câmp sînt utilizate destul de des în etajele de intrare ale receptoarelor. Datorită acestui fapt, semnalele foarte slabe, captate de către antenă nu trebuie să-și mai piardă din energie și sînt amplificate corespunzător. Vezi deci că, exact ca și la triodă rezistența de intrare a acestui tip de tranzistor este aproape infinită.

PANTA TRANZISTORULUI

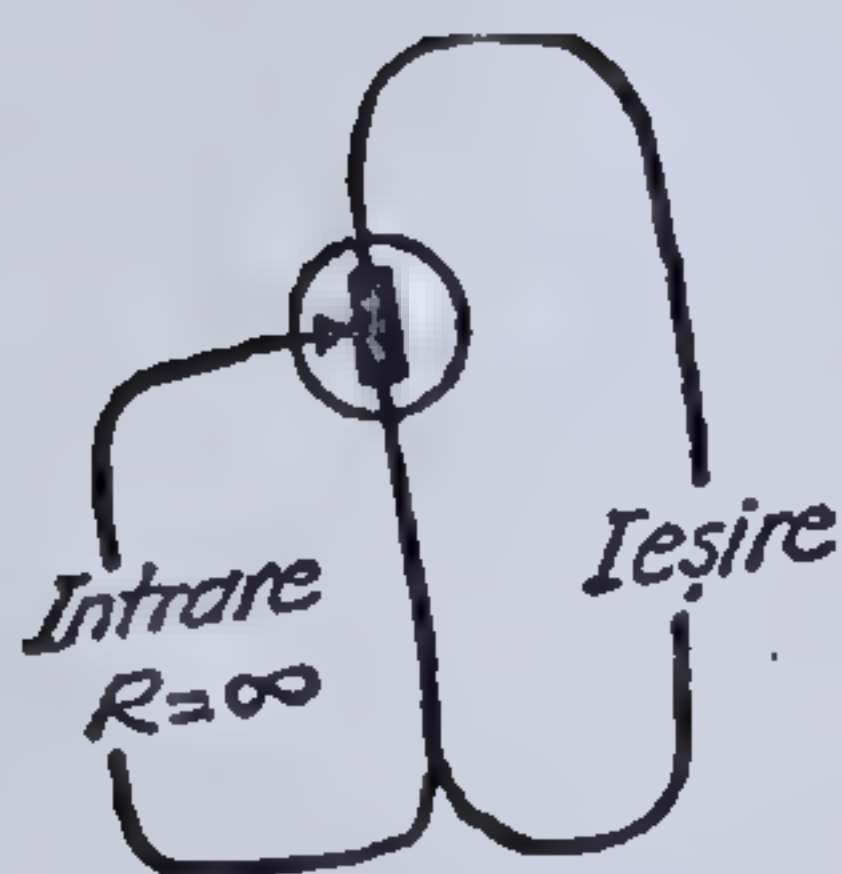
IGNOTUS : Spune-mi te rog cum se poate măsura, în acest caz variația curentului de drenă funcție de variațiile potențialului grilei ?

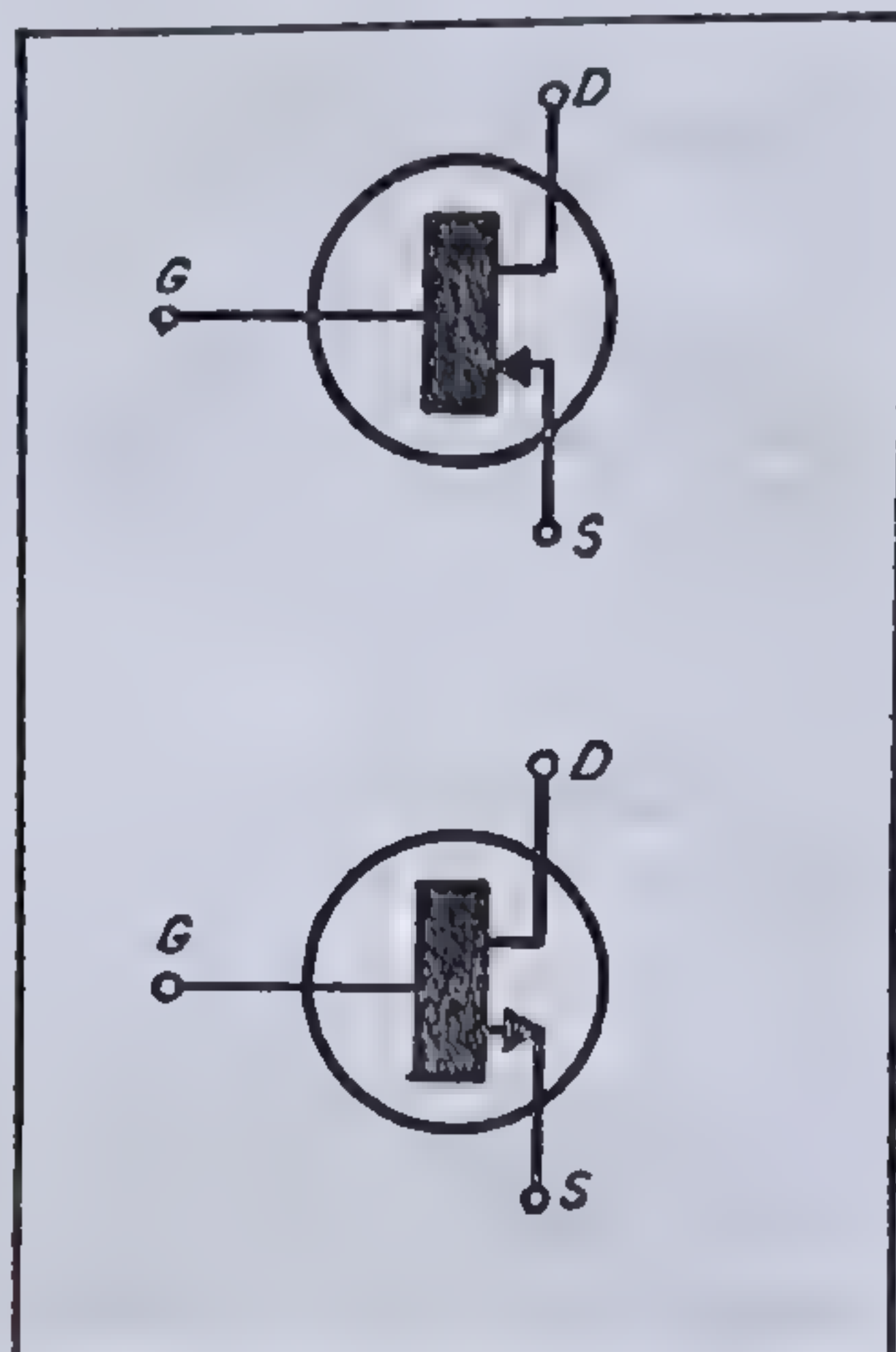
CURIOSUS : Pentru aceasta îți voi desena schema foarte simplă care se realizează în acest scop. Dar mai întîi, am să-ți arăt simbolurile grafice ale tranzistoarelor cu efect de câmp. Conform polarității semiconductorului, săgeata care simbolizează grila este îndreptată într-un sens sau altul.

Iată, în sfîrșit și montajul care te interesează. Vezi că potențialul aplicat grilei poate fi variat cu ajutorul potențiometrului P , conectat în paralel pe bateria care asigură tensiunea necesară. Un voltmetru ne indică valoarea tensiunii de polarizare V_p aplicată între grilă și sursă.

Pe de altă parte un miliampermetru permite măsurarea intensității curentului de drenă I_d , creat de bateria V_d .

Prin măsurări succesive, se poate trasa curba ce indică variația curentului I_d funcție de V_p . Veți constata că o mare por-

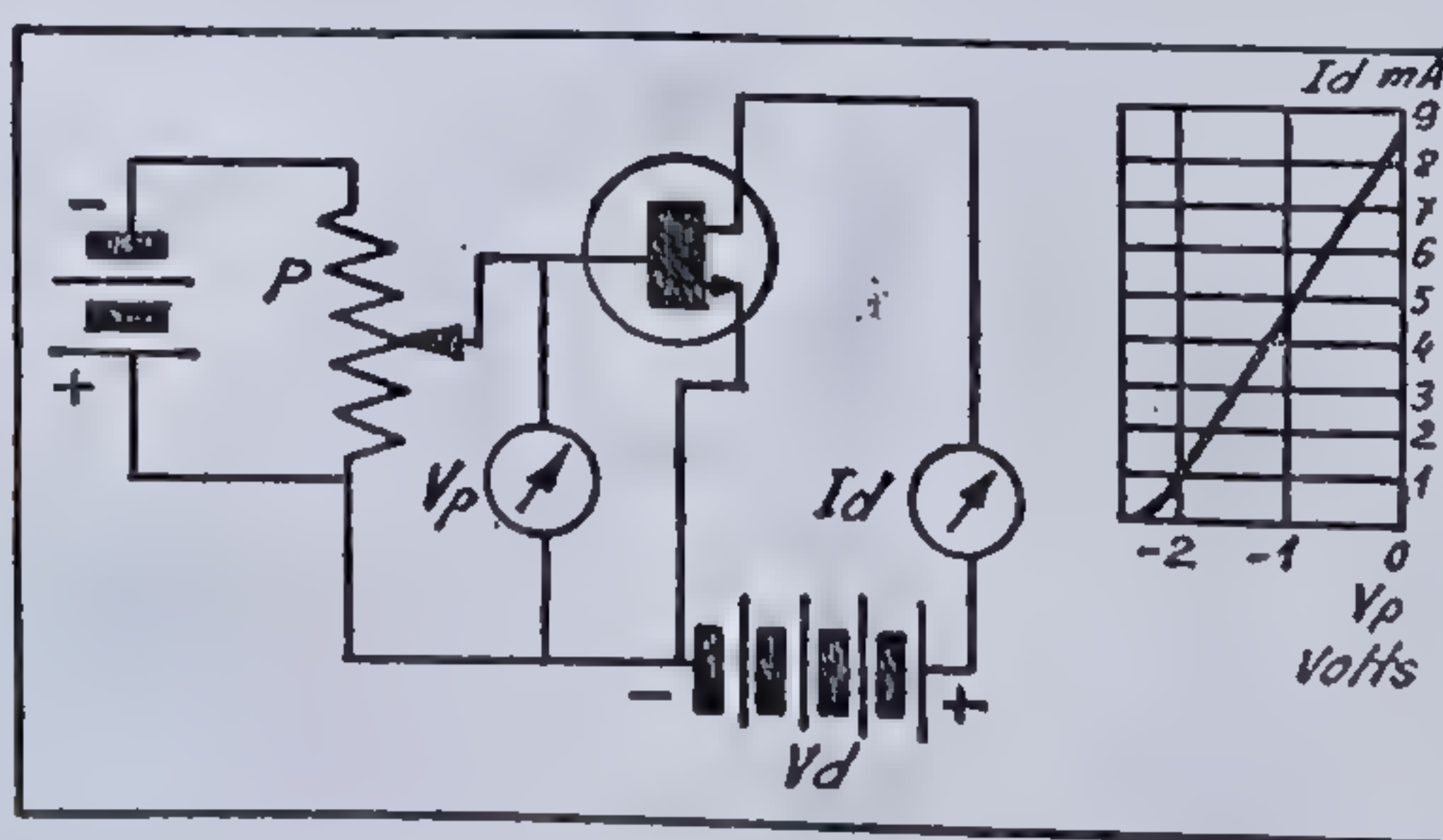




Simboluri pentru tranzistoare cu efect de cîmp.

țiune din această curbă este rectilinie. Ea permite deci determinarea valorii pantei tranzistorului.

Vezi că în momentul în care V_p își schimbă valoarea de la $-2V$ la $-1V$, intensitatea lui I_d crește de la 1 mA la aproximativ 5 mA. În acest punct panta tranzistorului este de aproape 4mA/V. Nu este o valoare mare. În schimb la unele tranzistoare cu efect de cîmp ea poate atinge mărimi de cîteva zeci de miliamperi pe volt.



Montaj pentru măsurarea variației curentului I_d funcție V_p , într-un tranzistor cu efect de cîmp de tip n. V_p se aplică între grilă și sursă. Valoarea ei este stabilită prin potențiometru P. Curba astfel obținută se aseamănă cu curba caracteristică a triodel $I_a = f(V_g)$.

POLARIZAREA GRILEI

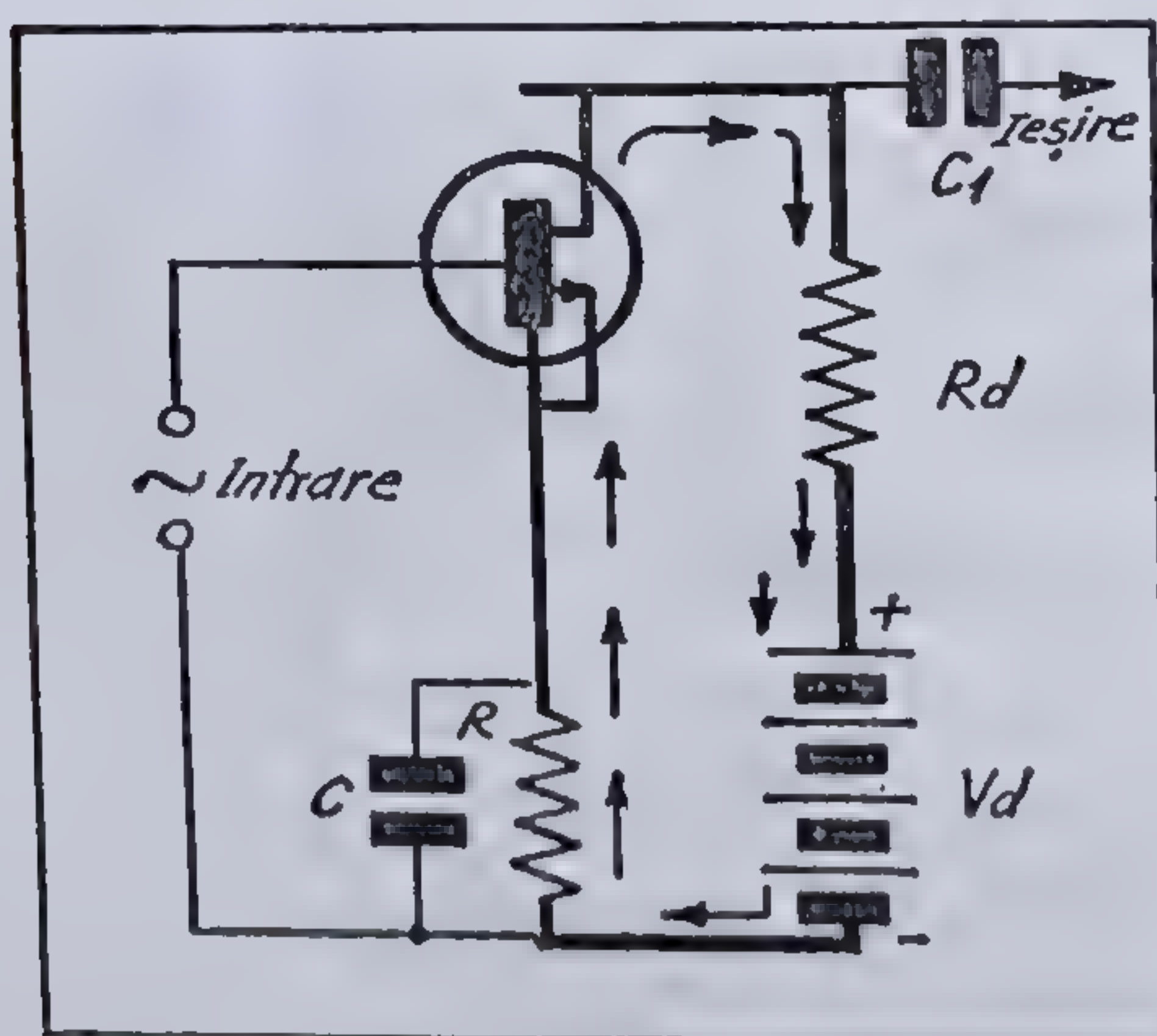
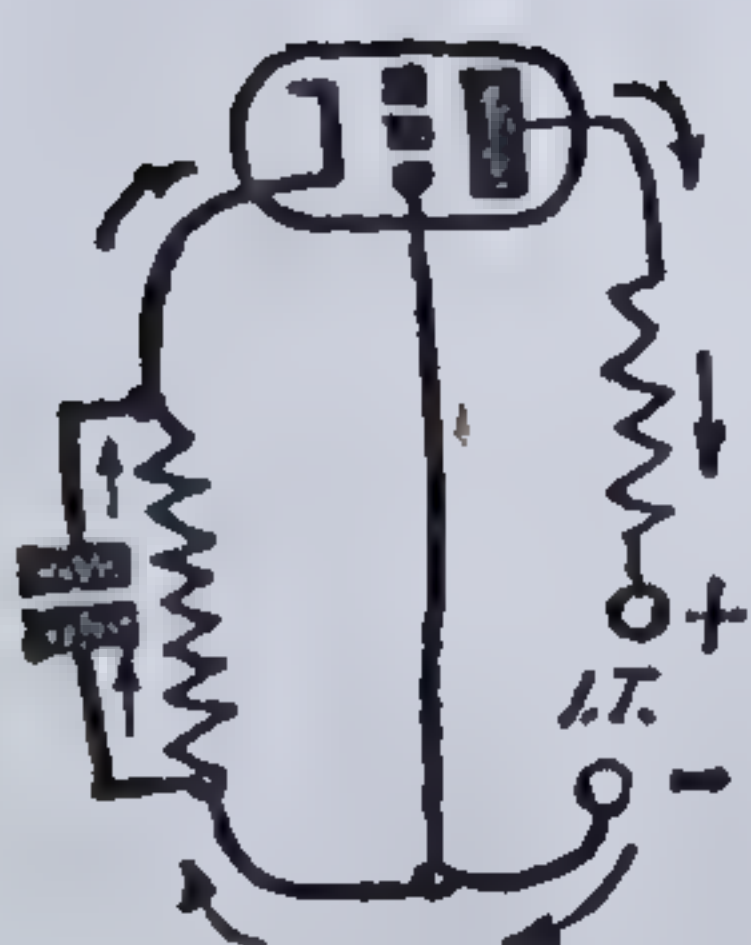
IGNOTUS : După cum văd, făcând comparație între tranzistoarele clasice *pnp* sau *nnp* și tranzistoarele cu efect de cîmp, acestea din urmă prezintă destule avantajii. Au însă și un dezavantaj și anume, necesitatea utilizării a două surse de tensiune : cea care polarizează grila și cea care generează curentul de drenă.

CURIOSUS : Liniștește-te, Ignotus, este suficientă numai o sursă de polarizare, ea fiind aceea a curentului de drenă. Îți mai amintești modul în care se negativă grila unei triode ?

IGNOTUS : Bineînțeles. Cu ajutorul curentului anodic care produce pe o rezistență o cădere de tensiune, pozitivînd în acest fel catodul față de grilă.

CURIOSUS : Ei bine, același lucru îl vom realiza și în cazul acestui tranzistor. Între bază și polul negativ al tensiunii V_p , vom intercala o rezistență R , pe care în paralel se conectează un condensator C , ce servește la scurtcircuitarea componentei variabile a curentului de drenă. Componenta continuă a acestuia, trecînd prin rezistența R , produce o cădere de tensiune ce pozitivă sursa tranzistorului față de polul negativ al bateriei, sau cu alte cuvinte sursei i se aplică o tensiune mai puțin negativă decît tensiunea polului negativ al bateriei.

Ori grila este conectată tocmai la acest pol al bateriei prin intermediul sursei de semnal. În așa fel încît grila este mai negativă decît sursa.



Datorită căderii de tensiune pe R , grila este polarizată negativ în raport cu sursa. Curenții ce traversează rezistența de sarcină R_d dau naștere unor tensiuni alternative, care se transmit la ieșirea etajului amplificator prin intermediul condensatorului C_1 .

În schema mea, am mai conectat și o rezistență de sarcină R , rezistență care produce prin trecerea curenților de drenă, o cădere de tensiuni variabile amplificate, transmise cu ajutorul condensatorului C , etajului următor.

IGNOTUS : În concluzie, așa cum arată, schema ta reprezintă de fapt un etaj de amplificare.

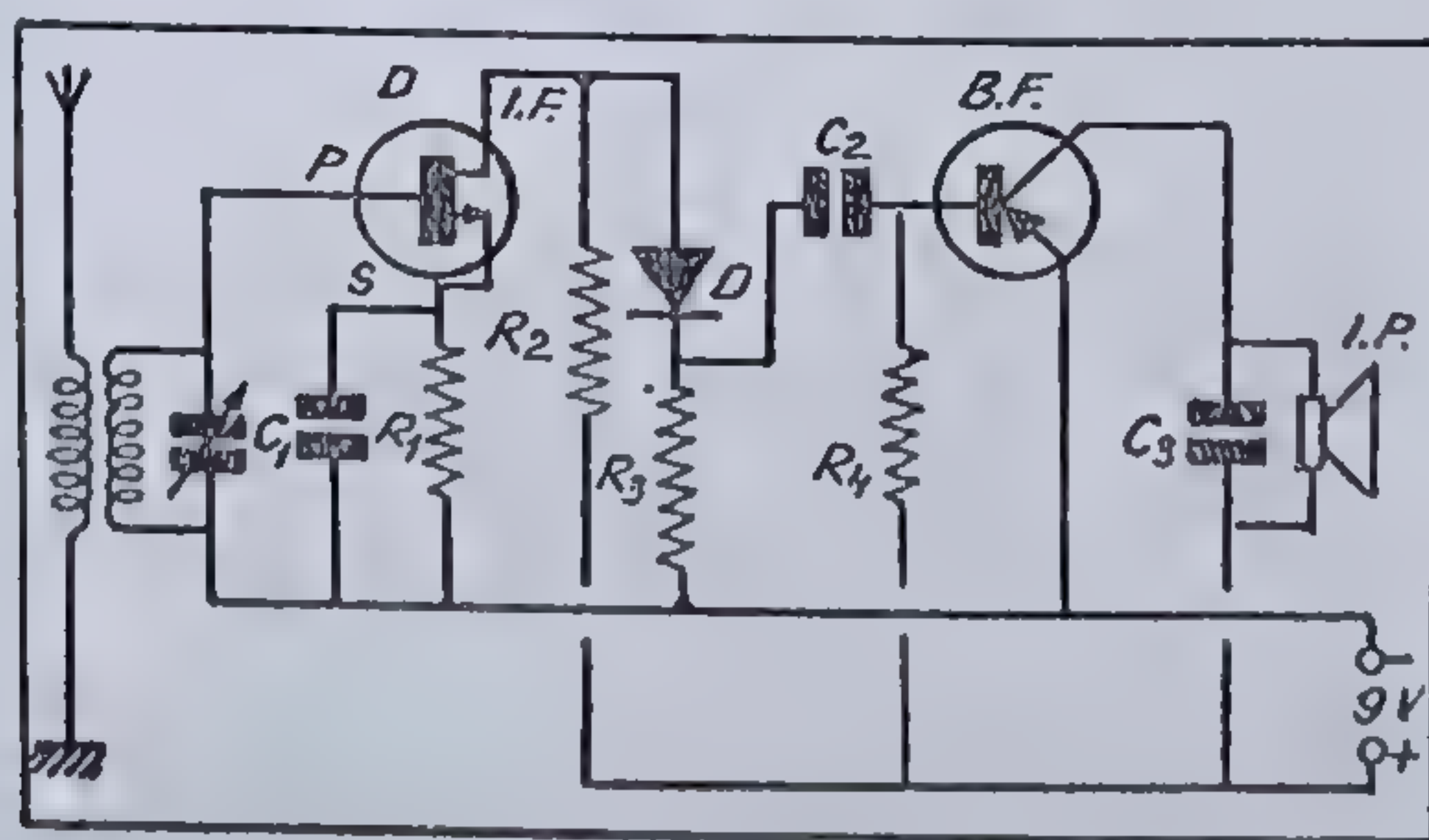
RADIORECEPTOR CU TRANZISTOARE

CURIOSUS : Ai dreptate, însă foarte schematizată... Ași putea totuși, dacă vrei, să-ți arăt acum schema completă a unui receptor care cuprinde un etaj de I.F., echipat cu tranzistoare cu efect de câmp, un etaj de detecție echipat cu o diodă semiconductoră și un etaj de J.F. ce utilizează un tranzistor clasic.

IGNOTUS : Constat cu plăcere că înțeleg această schemă tot atât de bine ca și romanele lui Mihail Sadoveanu și că o citesc cu tot atât de multă plăcere...

Rezistența R_1 servește la negativarea grilei față de sursă a primului tranzistor. Semnalele de I.F. captate de antenă se aplică între acești doi electrozi, prin intermediul condensatorului C_1 .

Trecerea curentului de drenă prin R_2 , realizează pe aceasta o cădere de tensiune de I.F. ce se aplică diodei D care realizează funcția de detecție. Semnalele detectate de J.F. dau naștere la rîndul lor unei căderi de tensiune pe rezistența R_3 , tensiune, care prin condensatorul C_2 , se aplică între baza și emi-



Receptor cu tranzistoare compus dintr-un etaj de I.F. cu tranzistor cu efect de câmp, dintr-o diodă semiconductoră și dintr-un etaj de J.F.



torul tranzistorului de joasă frecvență. Baza acestuia este negativată prin R_4 . Curentul de colector alimentează difuzorul, pe care, în acest fel îl face să funcționeze.

Am spus multe prostii ?

CURIOSUS : Nici una ! Analiza pe care ai făcut-o schemei este perfect identică cu cea pe care ași fi făcut-o chiar eu. Te felicit și, pentru a-mi păstra această impresie bună, hai să terminăm aci convorbirea noastră.

Profesorul Radiol analizează :

Cele trei montaje fundamentale ale tranzistoarelor

Ori care ar fi funcțiunile îndeplinite de tranzistoare, utilizarea lor se bazează întotdeauna pe unul din cele trei montaje fundamentale descrise aci, montaje ce prezintă o anumită analogie cu montajele corespondente ale triodelor.

Împărtășind sentimentele nepotului meu Curiosus, constat cu satisfacție, dragă Ignotus, că ai înțeles foarte bine funcționarea tranzistoarelor cu efect de câmp, lucru pentru care te felicit.

Dar să revenim acum la tranzistoarele clasice, acelea compuse din emitor, bază și colector. Am să vă explic cele trei montaje fundamentale și utilizarea lor. Și, deoarece ați sesizat atât de bine analogia existentă între tranzistor și triodă, voi face expunerea mea bazându-mă pe această similitudine.

SCHEMELE FUNDAMENTALE ALE TRIODEI

Să vedem mai întâi care sînt cele trei scheme fundamentale de utilizare ale triodei. Ele sînt determinate prin conectarea la masă a unuia dintre cei trei electrozi. Prin termenul conectare la masă se înțelege punctul cu potențial fix care este legat în general la punctul de masă, punct care reprezintă în aparatele echipate cu tuburi electronice, polul negativ al sursei de înaltă tensiune.

În montajele clasice, electrodul legat la masă în mod obișnuit este catodul. Conectarea se face fie direct, fie prin intermediul unei rezistențe de polarizare.

În schema desenată prin litera C, de altfel la fel ca și în celelalte, am simplificat reprezentarea, polarizînd grila cu aju-

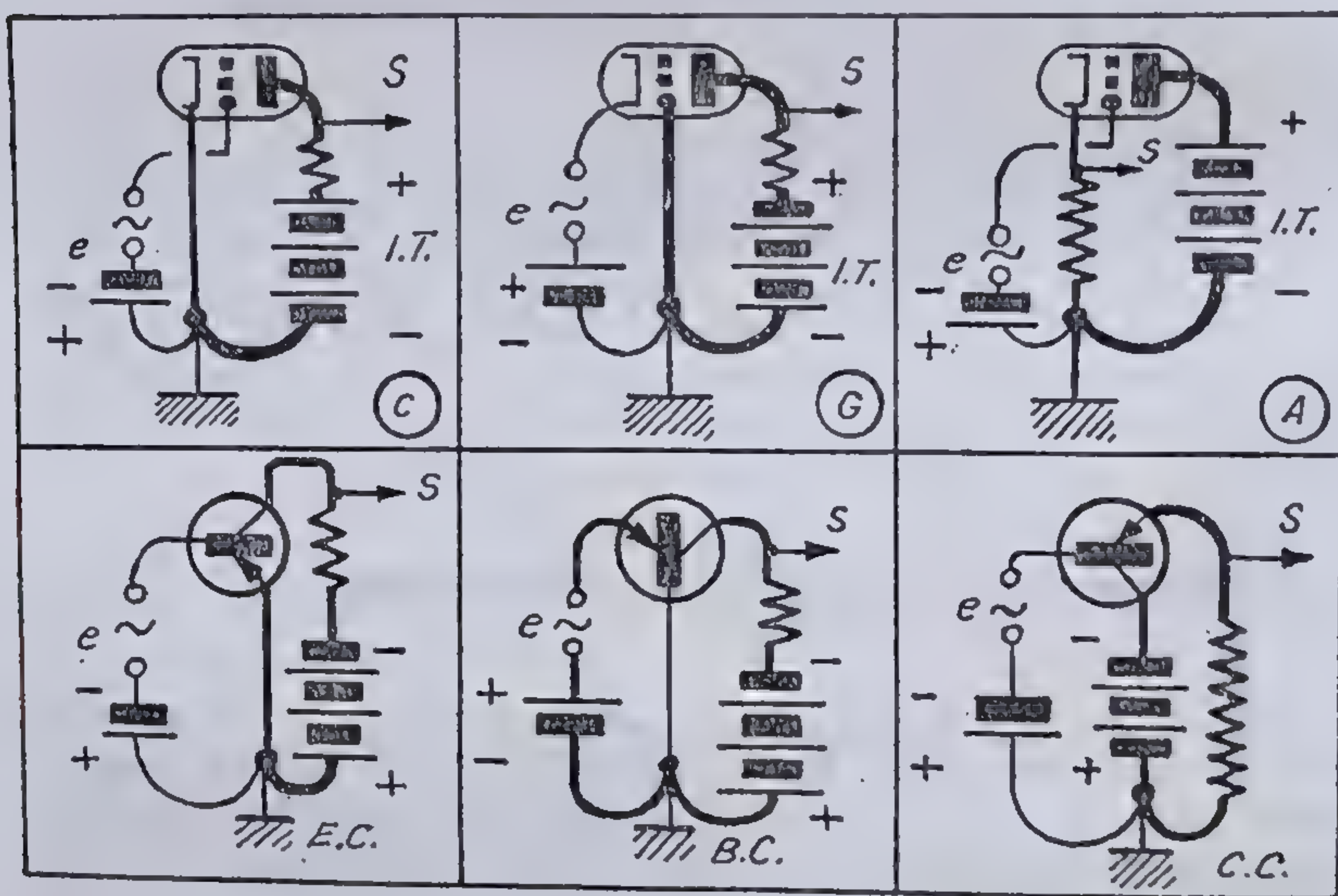
torul unei baterii. Am trasat cu linii groase circuitul parcurs de curentul anodic. În acest circuit am plasat o rezistență de sarcină (care de altfel poate fi înlocuită cu orice impedanță), pe care ia naștere prin trecerea curentului anodic căderea de tensiune variabilă, cu care se atacă etajul următor (vezi săgeata S).

Schema C este, după cum dealtfel v-am mai spus, schema cea mai utilizată deoarece variațiile potențialului față de masă se aplică pe grilă.

Se poate însă realiza și inversul, conform schemei G, în care potențialul grilei este fix (grila la masă). Variațiile potențialului de intrare (semnalele) ce urmează a fi amplificate sînt aplicate pe catod.

Și anodul poate fi conectat la masă prin intermediul sursei de alimentare. Acesta este cazul exemplificat de schema A. În acest caz impedanța de sarcină este plasată între catod și masă.

Nu fi surprins dragă Ignotus, examinînd această schemă. În realitate, cunoști montajul, deoarece sub o formă mai puțin obișnuită am desenat schema repetorului catodic.



Cele trei montaje fundamentale ale triodel :

- C — cu catod comun ;
- G — cu grilă comună ;
- A — cu anod comun.

- Cele trei montaje fundamentale a tranzistorului :
- B.C. — bază comună ;
 - E.C. — emitor comun ;
 - C.C. — colector comun.

MONTAJUL CU EMITOR COMUN

Ei bine, pentru că pînă acum ați analizat cu atenție cele trei scheme fundamentale de utilizarea triodei, să trecem la montajele similare cu tranzistoare. Ele se numesc „Emitor Comun“, „Bază comună“, și „Colector comun“.

Electrodul ce aparține atît circuitului de intrare cît și circuitului de ieșire, se numește electrod comun. În plus, acesta este electrodul ce posedă potențialul fix, fiind conectat la masă fie direct, fie printr-o sursă de alimentare de tensiune continuă.

Cel mai clasic montaj dintre cele trei este cel cu emitor comun, analog cu montajul triodei cu catod la masă. Vă mai amintiți că în acest montaj EC rezistența circuitului de intrare este relativ mică: cîteva sute de ohmi, fiind în cel mai bun caz 2.000 ohmi. În ceea ce privește rezistența de ieșire, ea este compusă din rezistența tranzistorului, între emitor și colector; și are o valoare destul de ridicată cuprinsă între 10 și 100 kilohmi.

Montajul emitor comun posedă o amplificare destul de bună. Semnalele de intrare (sau curenții variabili de intrare) dau naștere unor semnale de ieșire sau curenți de ieșire de 20 pînă la 200 ori mai mari. În ceea ce privește variațiile de tensiune, amplificarea lor este de ordinul sutelor. Vreau să spun că puterea (despre care știți că este produsul dintre curenț și tensiune) beneficiază în acest montaj de o amplificare de ordinul miilor.

Mai pot menționa că variațiile potențialului bazei sînt în opoziție de fază cu variațiile de potențial ale colectorului sau cu ale circuitului de ieșire. Într-adevăr, în momentul în care baza devine mai negativă, intensitatea curențului de colector scade, ceea ce ridică sau pozitivează potențialul colectorului.

MONTAJUL CU BAZĂ COMUNĂ

Să examinăm acum, montajul bază comună sau pe scurt BC. În acest caz, potențialul bazei este menținut la o valoare constantă (cea a masei sau zero), semnalele variabile ce urmează a fi amplificate aplicîndu-se pe emitor. Vă veți închipui deci că în aceste condiții, variațiile potențialului de colector sînt în fază cu cele ale potențialului de emitor. În momentul în care potențialului emitorului devine mai negativ, curențului de colector

scade, căderea de tensiune pe rezistența de sarcină scade, ceea ce are ca efect o negativare mai mare a colectorului.

Să vedem mai departe valoarea rezistenței de intrare a acestui montaj. Variațiile de tensiune aplicate între emitor și masă determină, bineînțeles, variațiile curentului de emitor, în timp ce în cazul montajului EC pentru calculul rezistenței de intrare se ține seama numai de curentul de bază care trecea prin circuitul de intrare.

Ori, în montajul BC în circuitul de intrare trece curentul de emitor care are o valoare net mai mare decât cel de bază, fiind de fapt suma curentului de colector și a celui de bază.

În aceste condiții și conform legii lui Ohm, prin împărțirea variațiilor de tensiune la variațiile de curent, valoarea rezultată a rezistenței de intrare are o valoare foarte mică, fiind de ordinul a câtorva zeci de ohmi, nedepășind niciodată o sută de ohmi.

Variațiile curentului de emitor (care, repet este suma dintre curentul de colector și cel de bază) sînt mult mai mari decât variațiile curentului de colector. Cu alte cuvinte, în acest caz este vorba de o slăbire (micșorare) a amplificării în curent.

În schimb, în privința tensiunii, aceasta beneficiază în acest montaj de o amplificare foarte mare. Acest lucru este rezultatul rezistenței mari pe care o posedă circuitul de ieșire, valoarea acestei rezistențe fiind cuprinsă între 0,5 și 2 megohmi. În aceste condiții, valoarea rezistenței de sarcină trebuie deosemena să fie foarte mare.

Cele mai mici variații ale curentului de colector, realizează variații foarte mari ale tensiunii. Iată de ce amplificarea în tensiune este de ordinul sutelor sau chiar miilor.

Din cauza rezistenței sale mari de ieșire, montajul B.C. este indicat în mod special pentru atacarea circuitelor ce posedă o impedanță ridicată.

MONTAJUL CU COLECTOR COMUN

În sfîrșit, să vedem acum funcționarea montajului cu colector comun sau C.C. În acest caz circuitul de intrare este identic cu circuitul de ieșire al montajului BC. Aceasta deoarece rezistența sa de intrare are o valoare foarte mare, fiind cuprinsă între mai multe sute de kilohmi și un megohm. În schimb rezistența circuitului de ieșire are o valoare foarte mică, deoarece ea este aceea care separă emitorul de colector, nedepășind o jumătate de kilohm.

Din cele expuse mai sus vă veți închipui că variațiile curentului de intrare vor da naștere unor variații foarte puternice ale curentului din circuitul de ieșire. Astfel factorul de amplificare în curent al acestui montaj este cuprinsă între 20 și 200.

În schimb amplificarea în tensiune este puțin subunitară deoarece exact ca și la montajul echivalent cu tuburi sau repetorul pe catod, variațiile tensiunii de ieșire sînt aproape egale cu variațiile tensiunii de intrare, deoarece valoarea rezistenței de sarcină este foarte mică. Astfel că, pe o rezistență foarte mică, chiar variațiile de curent foarte mari nu produc decît variații mici ale tensiunii ce cade pe ea.

Veți constata că aceste variații (de curent sau tensiune) sînt în fază față de semnalele de intrare.

Dar, în final, la ce poate servi un montaj în care de fapt nu amplifică tensiunile? El este utilizat în cazurile în care se pune problema atacării unor circuite a căror impedanță de intrare are o valoare mică și din această cauză necesită variații mari ale curentului.

După cum vedeți, trebuie ca întotdeauna să se țină seama de adaptarea impedanței de ieșire a primului etaj cu cea de intrare a următorului.

Acum deoarece cunoașteți cele trei montaje fundamentale ale tranzistoarelor, veți putea trece ușor la analiza diverselor scheme practice realizate cu aceste dispozitive.

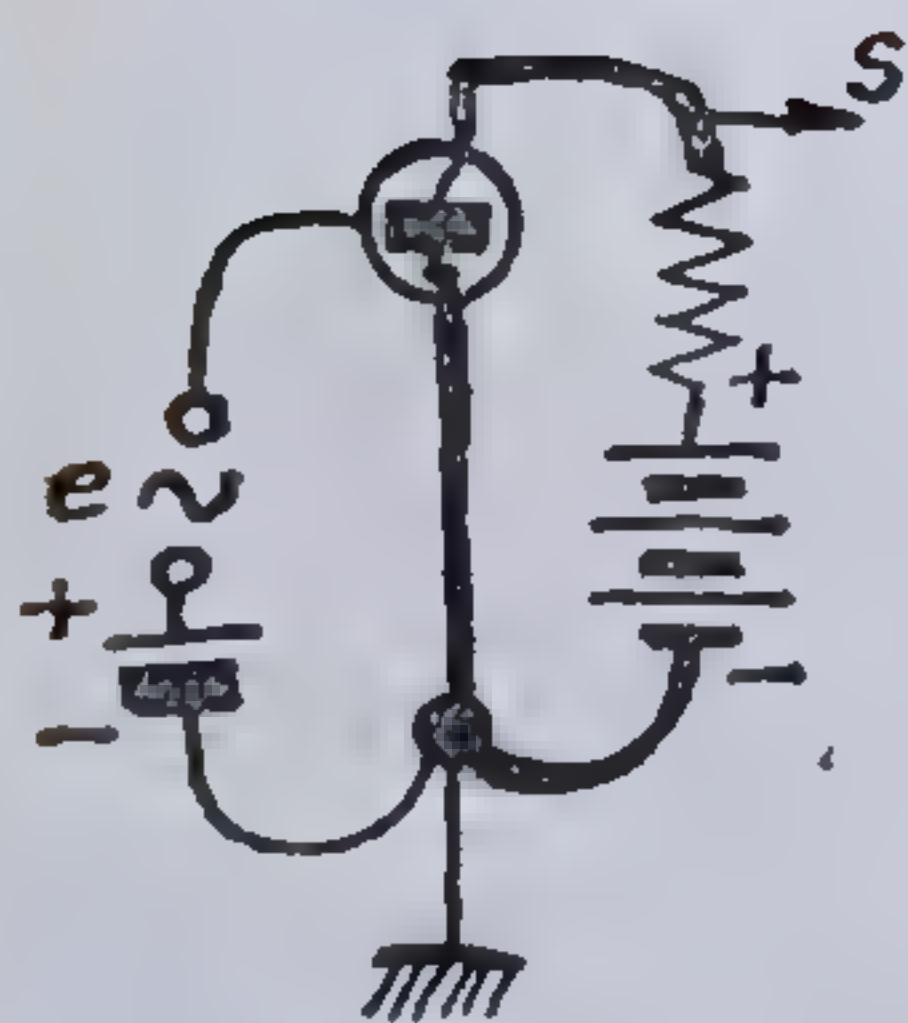
Curaj și succes !

Convorbirea a 12-a

Legătura intrare-ieșire, reacția

Cuplarea a două etaje echipate cu tranzistoare ridică unele probleme față de cele cu tuburi electronice, dat fiind că rezistența lor de intrare posedă o valoare relativ mică. Curiosus va încerca să explice aci modul de cuplare a două etaje de amplificare, ca după aceea să prezinte diverse montaje cu reacție. În cazul tranzistoarelor, reacția nu servește numai la micșorarea factorului de distorsiuni, ci și la compensarea efectului de temperatură.

ANALOGII ȘI DIFERENȚE



IGNOTUS : Explicațiile date de unchiul tău asupra celor trei montaje fundamentale ale tranzistoarelor au fost foarte interesante. Totuși ele nu privesc decât tranzistoarele de tip *pnp*. Aș vrea să știu dacă pentru cele de tip *nnp* ne mai putem baza pe ele.

CURIOSUS : Bineînțeles, însă cu condiția schimbării polarității surselor de tensiune continuă care figurează în schemele respective.

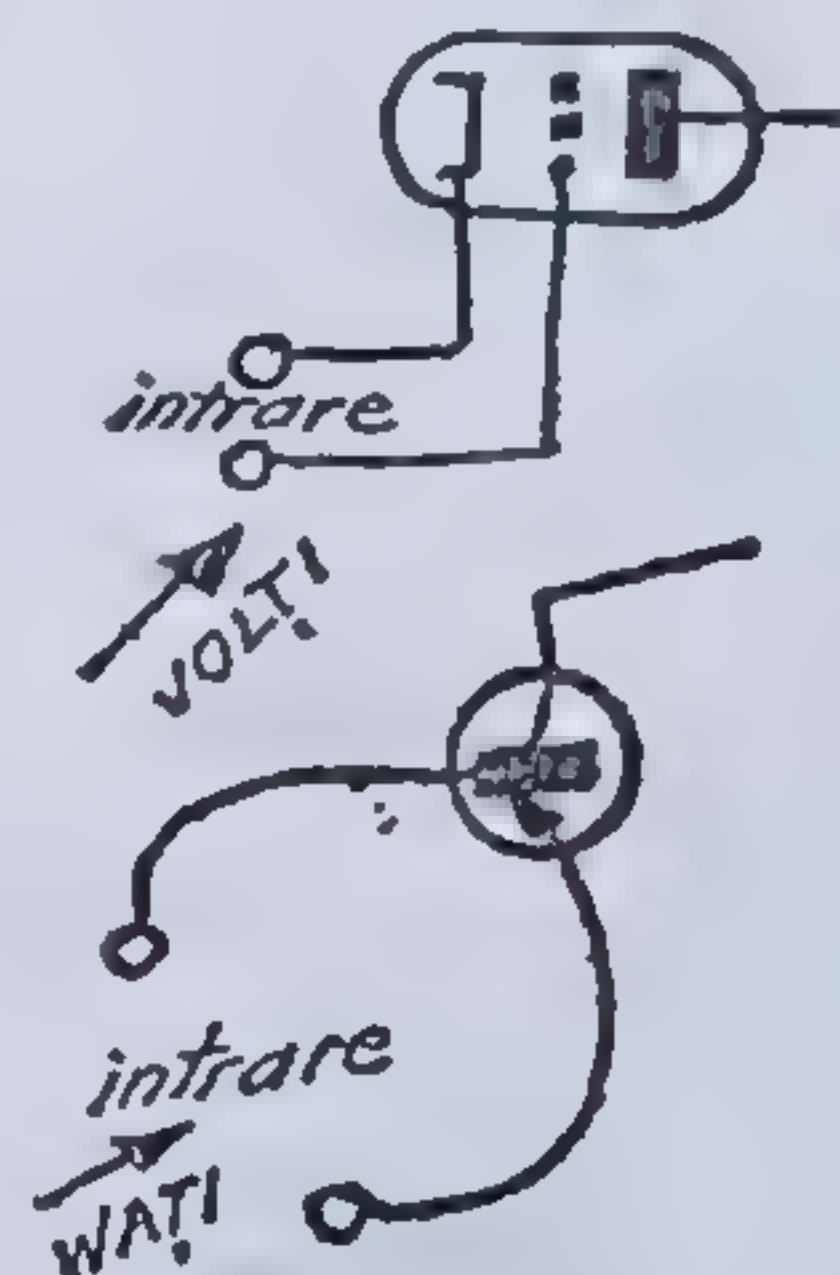
În practică se utilizează o singură baterie, polarizarea bazei fiind asigurată printr-o cădere de tensiune pe o rezistență sau printr-un divizor de tensiune, format din două rezistențe legate în serie și conectate la polii bateriei.

IGNOTUS : Deoarece toate cele trei montaje fundamentale ale tranzistoarelor sînt similare celor cu triode, îmi închipui că toate schemele de amplificare, atît cele de joasă frecvență, cele de înaltă frecvență, schimbătoarele de frecvență cît și cele de detecție pe care le-am studiat la tuburi, pot fi aplicate și aparatelor echipate cu tranzistoare.

CURIOSUS : Cred dragul meu, că tragi concluzii prea pripite. Analogie nu înseamnă identitate. Uiți că tranzistoarele posedă unele caracteristici cu totul diferite de cele ale tuburilor electronice. Aceasta din urmă au rezistența de intrare infinită, iar cea a tranzistoarelor este destul de mică.

În cazul tuburilor electronice, fiecare etaj trebuie să furnizeze următorului, numai variații de tensiune. În cazul tranzistoarelor însă, etajul precedent trebuie să furnizeze o anumită putere, deoarece variațiile de tensiune provoacă trecerea unor curenți în circuitul de intrare al etajului următor.

IGNOTUS : Într-adevăr, acest fapt schimbă totul. Și numai acum înțeleg de ce, în explicațiile sale, unchiul tău insista atât de mult asupra rezistențelor de intrare și ieșire, a fiecărui montaj fundamental. De altfel a și subliniat necesitatea unei bune adaptări a impedanțelor respective.



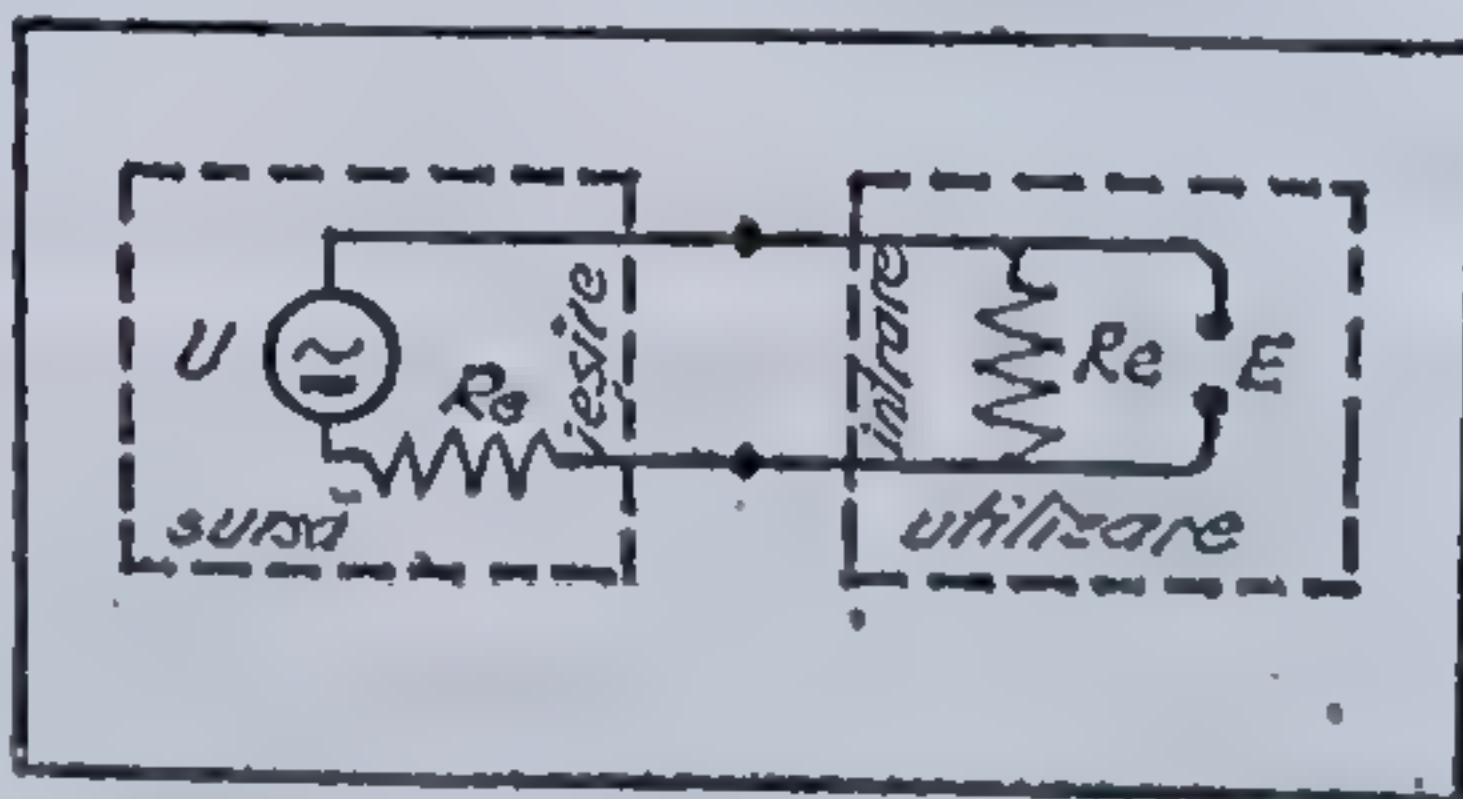
CONCORDANȚA ÎNTRE SURSA DE POLARIZARE ȘI UTILIZAREA CIRCUITULUI

CURIOSUS : Acesta este de fapt un principiu general în toate domeniile electricității și electronicii. Acest principiu constă în faptul că întotdeauna în aceste domenii trebuie să se facă bine diferența între *sursa de alimentare* și *utilizare*. Conform acestui principiu bateria este o sursă de alimentare, iar receptorul reprezintă utilizarea sursei.

Ori, însăși sursa de alimentare posedă o rezistență internă, R_i , care are o valoare mai mare sau mai mică. Tensiunile continue sau variabile, care iau naștere în interiorul sursei sînt denumite *tensiuni electromotoare*.

IGNOTUS : De fapt aceasta este tensiunea pe care o măsurăm la bornele bateriei ?

La sursa de tensiune U , ce posedă o rezistență internă R_i , se conectează circuitul de utilizare a cărui rezistență de intrare este R_e . Tensiunea ce apare la intrarea circuitului este E .



CURIOSUS : Nu, Ignotus. Curentul care traversează baterie provoacă în rezistența internă a acesteia, o cădere de tensiune,

astfel încît la bornele bateriei apare o tensiune egală cu diferența dintre tensiunea electromotoare și căderea de tensiune pe rezistența internă.

IGNOTUS : Totuși, în cazul în care prin baterie nu circulă nici un curent, deci în momentul în care ea nu este conectată...

CURIOSUS : În acest caz, ai dreptate, la bornele bateriei, apare tensiunea sa electromotoare în întregime deoarece pe rezistența sa internă nu există nici o cădere de tensiune.

Iată de ce, un voltmetru măsoară exact tensiunea electromotoare a unei baterii, numai în cazul în care aparatul posedă o rezistență internă foarte mare, pentru a nu permite trecerea curentului sau practic, curentul care l-ar parcurge ar trebui să fie efectiv foarte mic.

Să vedem acum ce se petrece cînd sursei i se conectează un circuit de utilizare, ce posedă o rezistență de intrare R_{intr} .

IGNOTUS : Constat că rezistența internă a sursei R_s și rezistența R_{int} a circuitului de utilizare sînt conectate în serie astfel încît curentul ce ia naștere în circuit, datorită tensiunii electromotoare U , le traversează pe amîndouă succesiv.

CURIOSUS : Așa este. Iar pe fiecare din aceste rezistențe curentul determină o cădere de tensiune proporțională cu valoarea acestora.

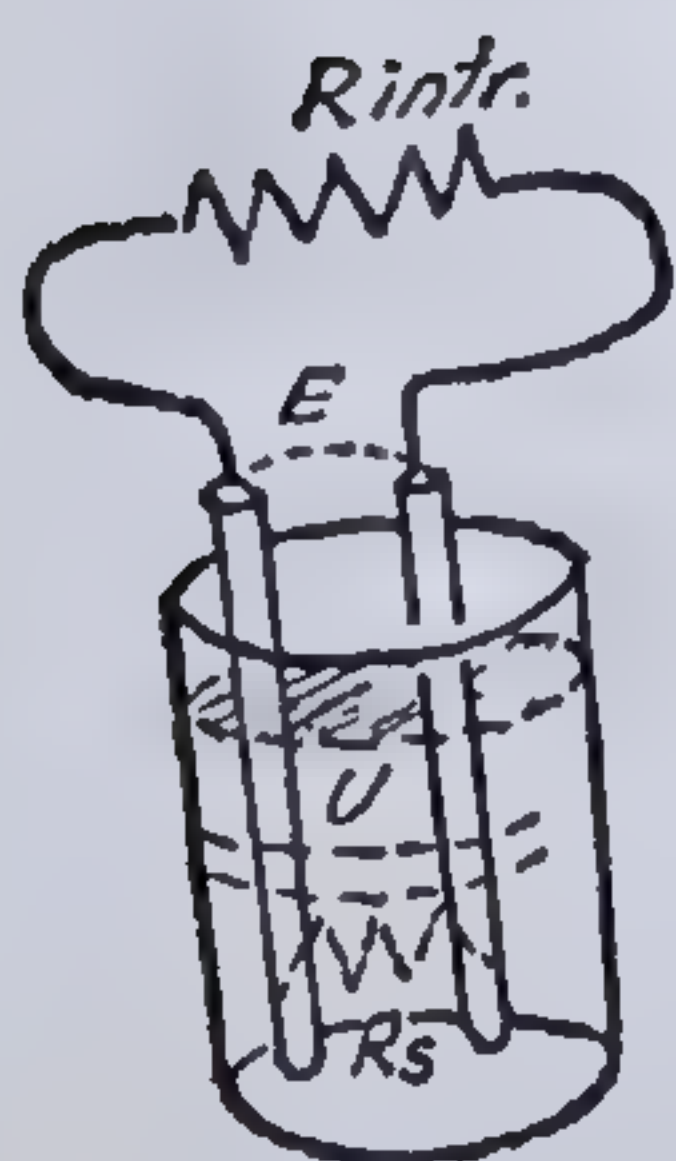
IGNOTUS : Exact. În sfîrșit, de-abia acum înțeleg unde vrei să ajungi. Dacă rezistența de utilizare (sau de sarcină) R_{int} este foarte mare, în timp ce aceea a sursei R_s este foarte mică, aproape toată tensiunea electromotoare va apare sub forma unei tensiuni E la bornele rezistenței de utilizare R_{int} .

Este exact cazul tuburilor electronice, a căror rezistență de intrare este infinită. Pe această rezistență se aplică tensiunile provenite din ieșirea etajului precedent.

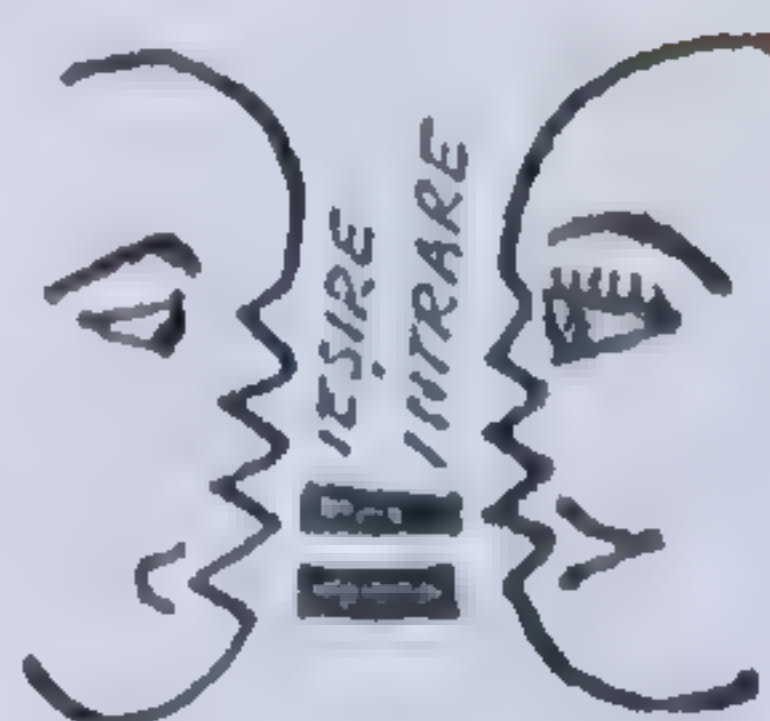
Dar, în general, tranzistoarele au o rezistență de intrare foarte mică. În consecință, dacă rezistența de ieșire a etajului precedent este relativ mare, pe intrarea etajului următor tensiunea aplicată E va fi destul de mică.

Îmi închipui deci, că aceste circuite trebuie concepute astfel încît rezistența de intrare să fie mult mai mare decît cea de ieșire a etajului precedent.

CURIOSUS : Concluzie inexactă, Ignotus. Uită că la tranzistoare, la intrare se aplică o anumită putere și nu o tensiune. Ori, puterea este produsul dintre curent și tensiune. În consecință trebuie să ne aranjăm în așa fel, încît rezistența de intrare să fie parcursă de un anumit curent (deci ea nu trebuie să posede o valoare mare) dar pentru ca acest curent să creleze pe această rezistență o cădere de tensiune, valoarea ei nu trebuie să fie nici prea mică.



Cele expuse mai sus îți explică, în sfârșit, de ce este atât de important ca valoarea rezistenței de intrare a etajului atacat să fie pe cât posibil, egală cu ce a de ieșire a etajului precedent. În acest fel se obțin atât o tensiune cât și un curent de valori suficiente, pentru ca puterea aplicată tranzistorului să-l facă să funcționeze în condiții optime.

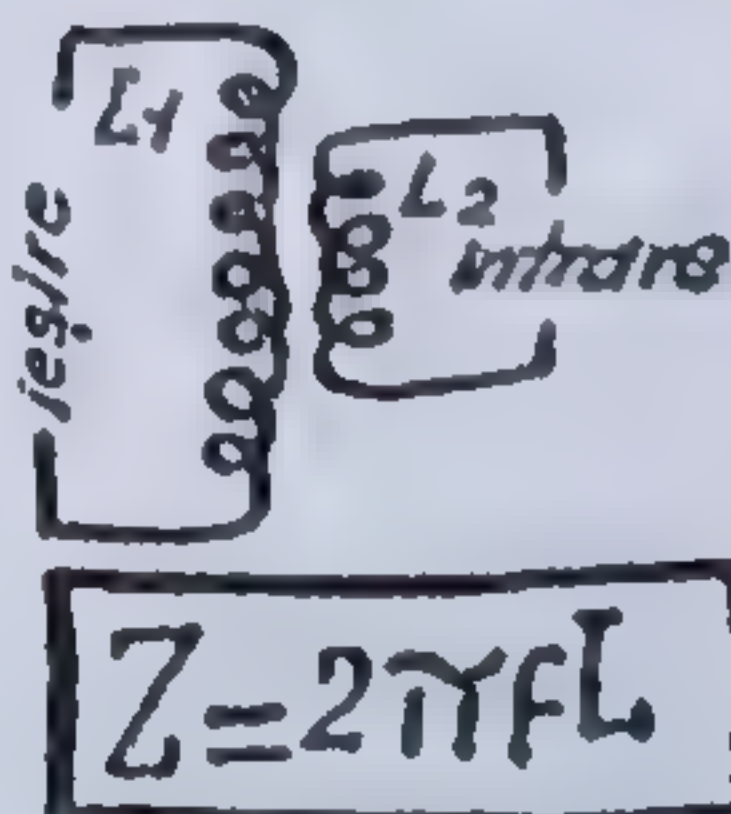


MIJLOCUL IDEAL PENTRU ADAPTAREA IEȘIRII LA INTRARE

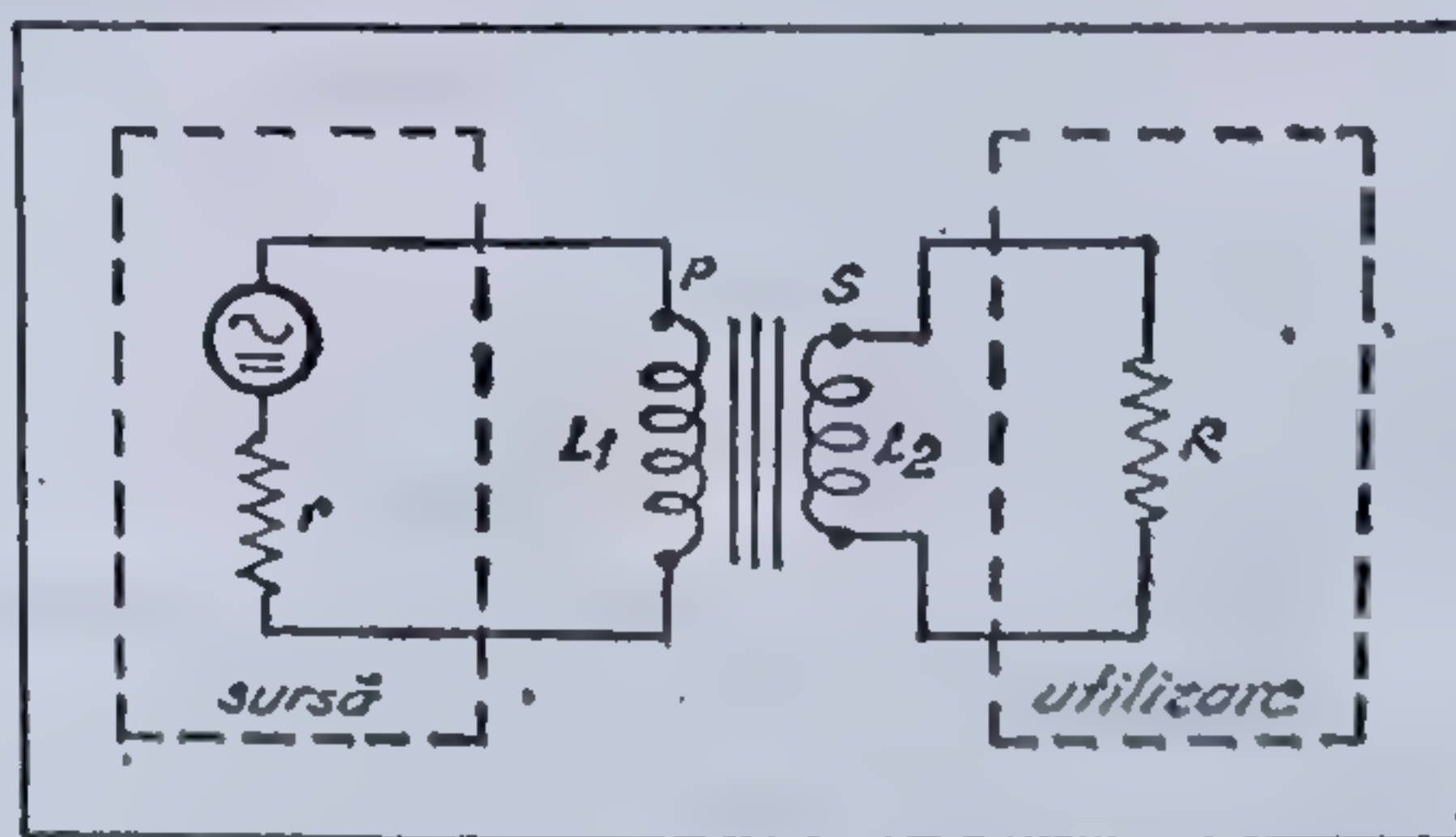
IGNOTUS : Înțeles ! De altfel, îmi închipui, că ceea ce spui nu se referă numai la rezistențele ohmice, dar într-un mod general la toate impedanțele, indiferent de natura lor. Și totuși, această condiție sau obligație de a avea impedanțe egale la ieșirea unui etaj și la intrarea următorului, limitează posibilitățile de cuplare a diverselor etaje.

CURIOSUS : Ascultă-mă, Ignotus, cred că nu vrei să gîndești. Tu nu-ți poți închipui că există și dispozitive care pot efectua transformarea impedanțelor, lucru ce dă posibilitatea de a cupla două etaje a căror impedanțe nu s-ar putea adapta ?

IGNOTUS : M-am gîndit mult la acest lucru, dar nu-mi pot imagina ce mijloc anume s-ar putea utiliza în acest scop.



Utilizarea unui transformator între intrare și ieșire permite adaptarea impedanțelor între sursă și utilizare.

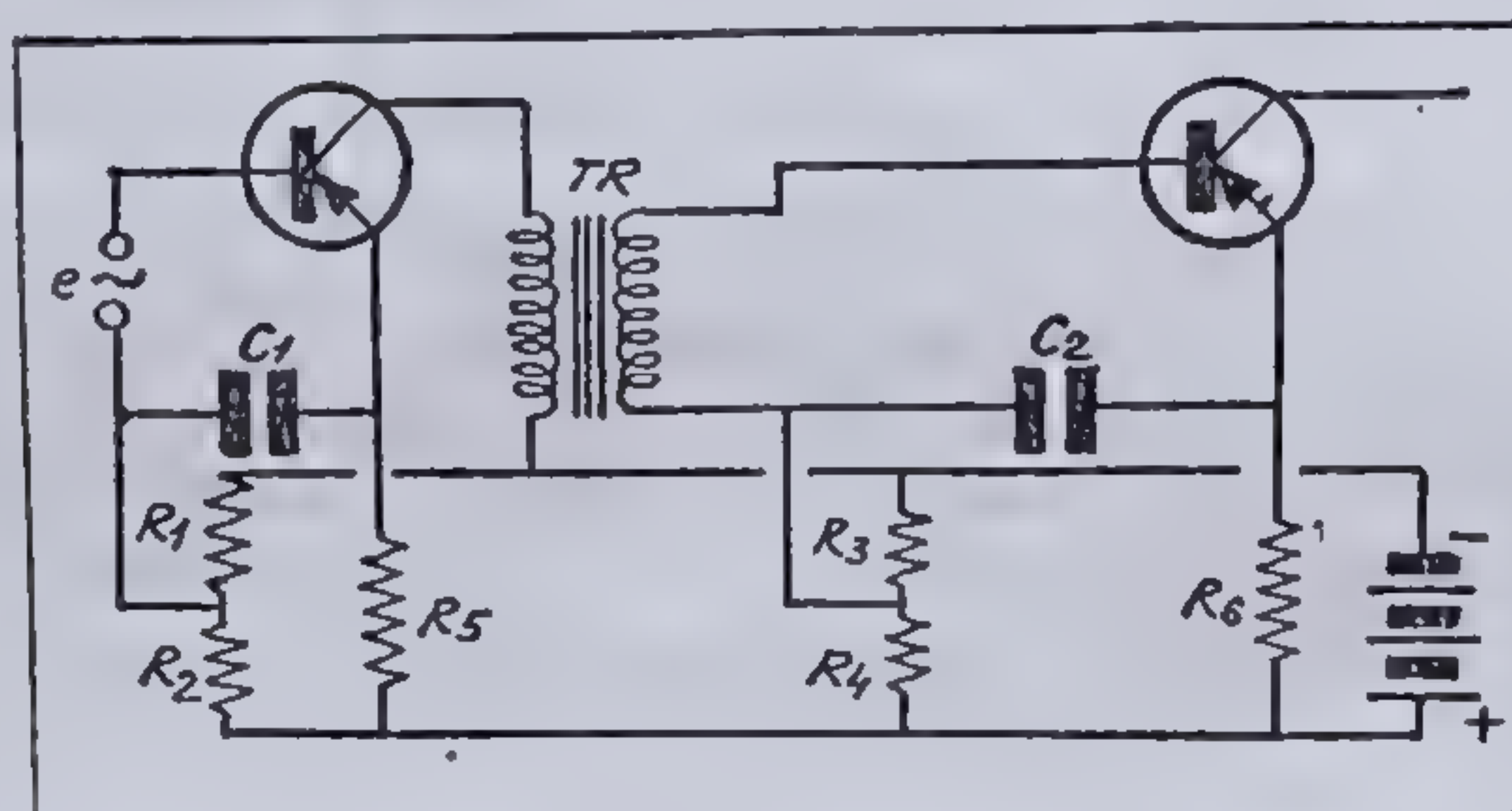


CURIOSUS : Nici mai mult, nici mai puțin decît un transformator. Primarul trebuie să aibă o inductanță a cărei valoare să fie de același ordin de mărime cu rezistența internă a sursei ; la rîndul său inductanța secundarului trebuie să fie aproximativ egală cu valoarea rezistenței de utilizare. Se asigură astfel în cele mai bune condiții adaptarea celor două etaje.

IGNOTUS : Îmi aduc aminte că inductanța unei înfășurări a transformatorului este proporțională cu coeficientul său de

autoinducție. La rîndul său acesta este proporțional cu pătratul numărului de spire. În așa fel încît, dacă bobinajul n_2 al secundarului transformatorului posedă de două ori mai multe spire decît primarul acestuia, inductanța sa va fi de patru ori mai mare. Aceasta va permite deci stabilirea unei legături între două etaje unde impedanța de intrare a celui de-al doilea este de patru ori mai mare decît impedanța de ieșire a etajului precedent.

CURIOSUS : Constat că ești foarte tare la matematică și ca urmare am să-ți dau o problemă. Iată o schemă care reprezintă două etaje de amplificare de joasă frecvență, echipate cu tranzistoare montate în emitor comun.



Amplificator de J.F. compus din două etaje cu tranzistoare cuplate prin transformator, ce asigură egalitatea rezistențelor de intrare și ieșire.

Dacă rezistența de ieșire a primului etaj este de $36 \text{ k}\Omega$ iar cea de intrare a celui de al doilea este de $1 \text{ k}\Omega$, care trebuie să fie raportul între spirele primarului și secundarului transformatorului de legătură ?

IGNOTUS : În cazul în care rezistența de ieșire este de 36 ori mai mare decît cea de intrare a etajului următor, trebuie ca inductanța primarului transformatorului să fie de 36 ori mai mare decît cea a secundarului. Dar deoarece, inductanța este proporțională cu patratul numărului de spire, este necesar ca primarul să aibă de 6 ori mai multe spire decît secundarul. În consecință raportul de transformare, n , va fi egal cu 6. În plus îți mulțumesc că ai ales astfel valorile rezistențelor, încît să nu întîmpin nici o greutate la extragerea rădăcinii patrurate din raportul lor. În final raportul n de transformare între rezistențele R_{int} și R_o , se poate calcula cu formula

$$n = R_{int}/R_o$$

CURIOSUS : Dragă Ignotus, să-ți spun drept, cred că ai înghițit kilograme de pește, fapt ce ți-a îmbogățit creierul în fosfor, pentru a fi în stare să faci asemenea raționamente.

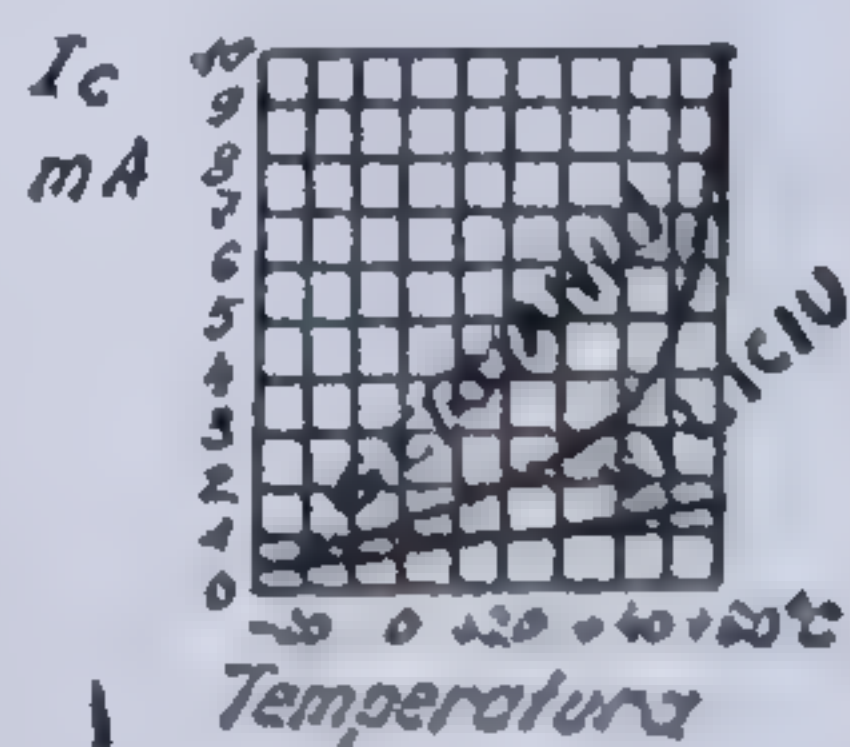


REAȚIA CONTRA CĂLDURII

IGNOTUS : Și totuși din păcate nu ai dreptate deoarece cred că nu posed cantitatea suficientă de fosfor necesară creierului meu și iată de ce : în schema prezentată de tine există lucruri pe care nu le înțeleg. Observ că bazele tranzistoarelor sînt polarizate cu ajutorul divizoarelor de tensiune, compuse din R_1 și R_2 pentru primul tranzistor și din R_4 și R_3 pentru cel de al doilea. Îmi închipui de asemenea că condensatoarele C_1 și C_2 servesc la scurtcircuitarea componentelor alternative ale curenților de intrare.

Spune-mi, însă, te rog, ce rol îndeplinesc rezistențele R_5 și R_6 conectate între emitori și polul pozitiv al bateriei ?

CURIOSUS : Acestea servesc la reducerea efectului produs de creșterea temperaturii asupra curentului de colector. Treccerea acestui curent prin joncțiunile tranzistorului provoacă o anumită încălzire. Și după cum bine știi, semiconductoarele sînt foarte sensibile la variațiile de temperatură. Odată cu creșterea ei, crește și I_c . Efectul creșterii curentului de colector odată cu creșterea temperaturii este mult mai pronunțat la germaniu decît la siliciu.



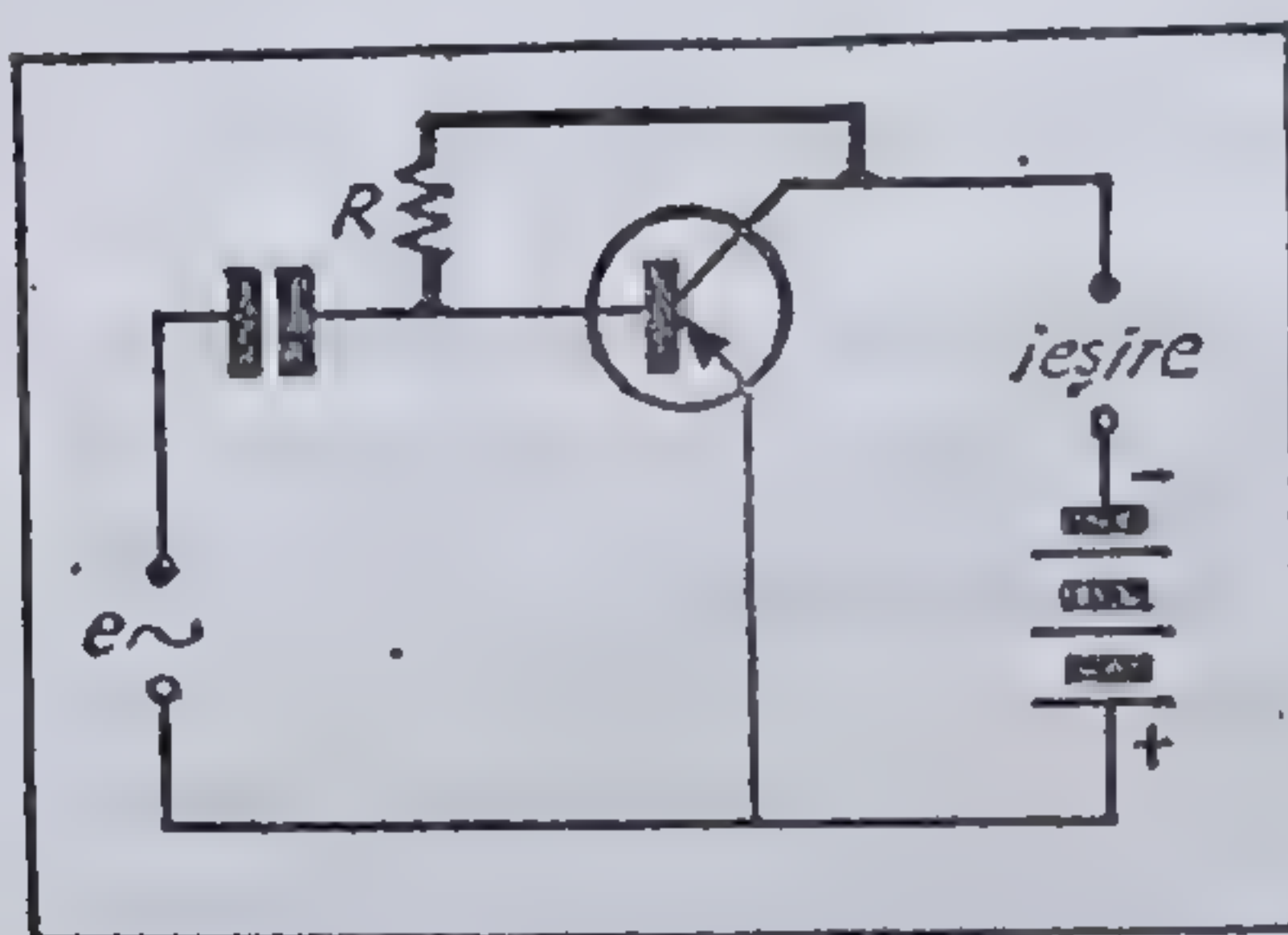
Creșterea curentului de colector duce în mod corespunzător la creșterea curentului de emitor. În schema desenată de mine, acesta trece și prin rezistența conectată între emitor și polul pozitiv al bateriei. În consecință, creșterea curentului are ca rezultat o cădere de tensiune mai mare pe această rezistență, fapt care conduce la o negativare mai pronunțată a emitorului.

Pe de altă parte, tensiunea continuă aplicată pe bază, rămîne constantă. În aceste condiții diferența de potențial dintre bază și emitor scade, ceea ce duce la o micșorare a curentului de colector.

IGNOTUS : Ceea ce îmi spui mă amuză, deoarece o creștere a curentului de colector are ca efect în final o micșorare a sa, realizîndu-se prin aceasta un curent de intensitate constantă cu toată variația temperaturii.

CURIOSUS : De fapt, aei sîntem în prezența unei reacții negative, deoarece I_c acționează asupra lui însuși, nu însă pentru a-și mări amplitudinea variațiilor sale, ci dimpotrivă pentru a le reduce la minimum.

Așa cum ai văzut în schema amplificatorului, reacția negativă este o *reacție serie*. Această reacție negativă se poate realiza însă și *în paralel*, aceasta fiind figurată în schema de mai jos.



Montaj cu reacție negativă paralel.

După cum vezi, aci, rezistența de reacție este conectată în paralel pe joncțiunea bază-colector. În acest caz ea trimite spre bază variațiile potențialului colectorului. În momentul în care intensitatea curentului crește din cauza încălzirii tranzistorului, potențialul continuu al colectorului devine mai puțin negativ (căderea de tensiune pe rezistența de sarcină crește); din această cauză pe bază prin R se aplică o tensiune mai puțin negativă. Această scădere micșorează diferența de potențial emitor-bază și în consecință reduce curentul de colector.

IGNOTUS : Reacția negativă îmi este foarte simpatică.

REAȚIA NEGATIVĂ LUPTĂ ÎMPOTRIVA DISTORSIUNILOR

CURIOSUS : Dacă reacția negativă îți place chiar atât de mult, pot să-ți spun că tot la ea se face apel pentru reducerea distorsiunilor de joasă frecvență (J.F.). În acest caz, ea nu mai acționează asupra componentelor continue ale tensiunilor și curenților ci asupra componentelor variabile ale acestora. În consecință, acestea nu mai trec printr-un condensator conectat în paralel cu rezistența de reacție, ci circulă chiar prin ea. În acest fel pe această rezistență ia naștere nu numai o cădere de tensiune continuă, ci și una alternativă. Aceasta din urmă este în opoziție de fază cu tensiunea alternativă de semnal sau de intrare, ce urmează a fi corectată.

IGNOTUS : Spune-mi te rog care sînt însă efectele acestor distorsiuni pe care le combatem astfel ?

CURIOSUS : Atît în amplificatoarele cu tuburi electronice cît și în cele echipate cu tranzistoare, tensiunile de J.F. amplificate pot fi supuse unor deformații. Este suficient, de exemplu, ca variațiile curențului anodic să nu fie perfect proporționale cu cele ale tensiunii aplicate între grilă și catod, pentru ca tensiunea variabilă din ieșire să nu mai aibă aceeași formă cu cea aplicată la intrare. În acest caz puterea semnalului de ieșire nu mai corespunde celei emise. Dar ceea ce este și mai grav, este deteriorarea calității sunetelor prin apariția armonicelor, armonice ce nu existau în sunetele inițiale.

IGNOTUS : Ce înțelegi tu prin „armonice“ ?

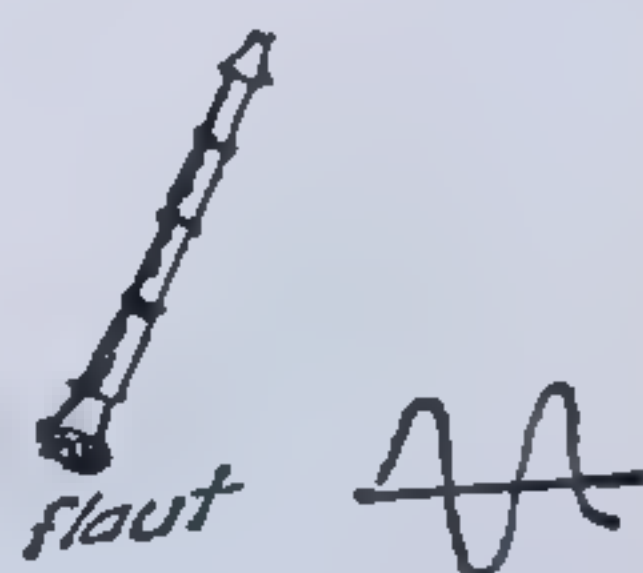
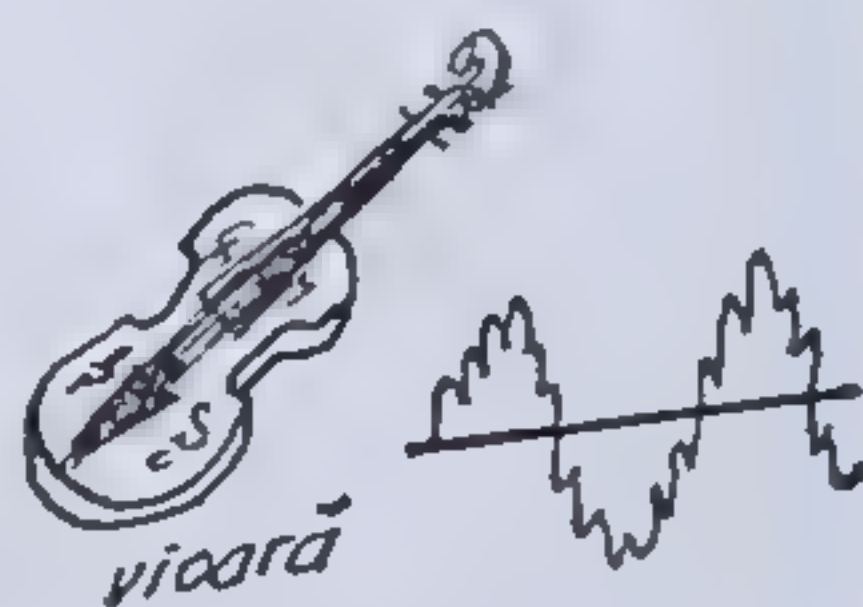
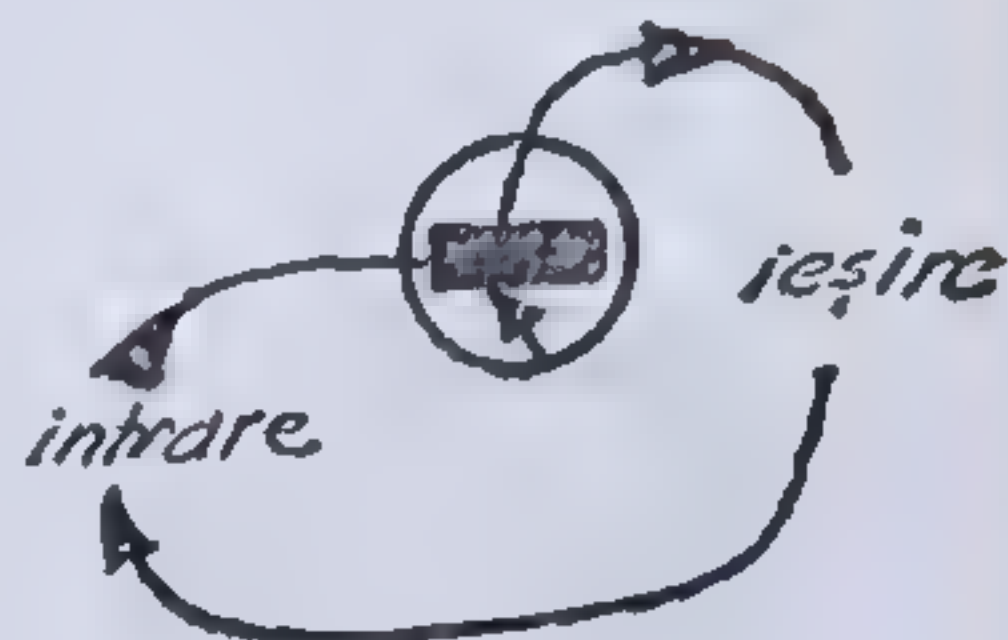
CURIOSUS : Armonicele sînt componentele unui sunet care posedă frecvențe ce sînt un multiplu al frecvenței fundamentale. Prezența acestor armonice determină timbrul diverselor instrumente muzicale. Cu alte cuvinte, sunetul unei viori, foarte bogat în armonice este ușor distins de sunetul unui flaut, cu toate că ambele instrumente posedă aceeași frecvență fundamentală.

În cazul în care amplificatorul nostru de J.F., dă naștere pentru tensiunea variabilă pe care o amplifică, unor armonice ale acesteia pe care inițial nu le posedă, se modifică însuși timbrul sunetelor reproduse.

IGNOTUS : Îmi dau bine seama că astfel de distorsiuni sînt periculoase. Cum reușește însă reacția negativă să le combată ?

CURIOSUS : Mai mult decît simplu. O parte a tensiunii variabile de ieșire se aplică la intrare, însă în opoziție de fază față de semnalul ce urmează a fi amplificat. Prin aceasta distorsiunile amplificate aplică la intrare tensiuni variabile în opoziție de fază sau invers cu cele de intrare, care anulează sau cel puțin reduc distorsiunile acestora din urmă.

IGNOTUS : Arată-mi acum, te rog, realizarea practică a unei astfel de reacții.



MONTAJE CU REACȚIE NEGATIVĂ

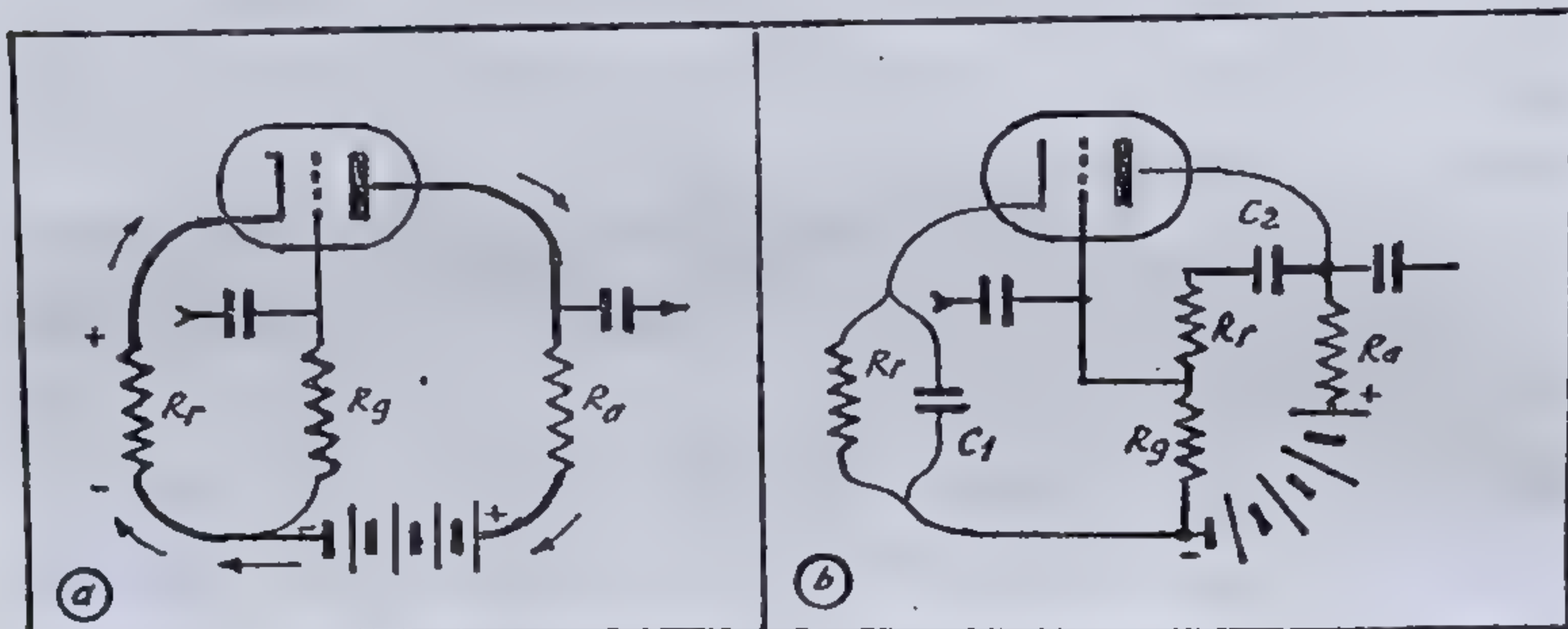
CURIOSUS : Mai întîi, am să-ți arăt acest lucru în montaje realizate cu tuburi. Reacția negativă se obține prin conectarea unei rezistențe R_r între catod și polul negativ al sursei de înaltă tensiune. Această rezistență nu mai este scurtcircuitată de un condensator. Astfel ea este parcursă de întregul curent anodic. Componenta continuă a lui I_a realizează polarizarea negativă a grilei. În privința componentei alternative, ea dă naștere pe această rezistență unei căderi de tensiune, care este în opoziție de fază cu tensiunea variabilă de intrare, aplicată în-



tre grilă și catod. Iată deci realizarea practică a reacției negative.

IGNOTUS : Totuși, după câte mi-ai explicat, îmi face impresia că odată cu existența reacției negative, amplificarea etajului scade. Această reacție negativă este tocmai contrariul reacției pozitive prin care la intrare se aplică tensiunea de reacție care însă este în fază cu semnalul de intrare, ceea ce duce bineînțeles la creșterea amplificării etajului.

CURIOSUS : Bineînțeles. Doar n-ai vrea ca în același timp să beneficiezi atât de puritatea sunetelor cât și de o amplificare maximă. Prin reacția negativă se asigură calitatea, puritatea sunetelor, acest lucru realizându-se însă în detrimentul amplificării.



a — Reacția negativă într-un etaj cu tub electronic (triodă) : Reacția negativă de curent este realizată cu ajutorul rezistenței R_f , comună atât circuitului de grilă cât și celui anodic ;

b — Reacția negativă de tensiune se obține aplicînd pe grilă o fracțiune din tensiunea alternativă dezvoltată pe rezistența de sarcină R_a , transmisă prin intermediul C_2 , divizorului de tensiune $R_f R_g$.

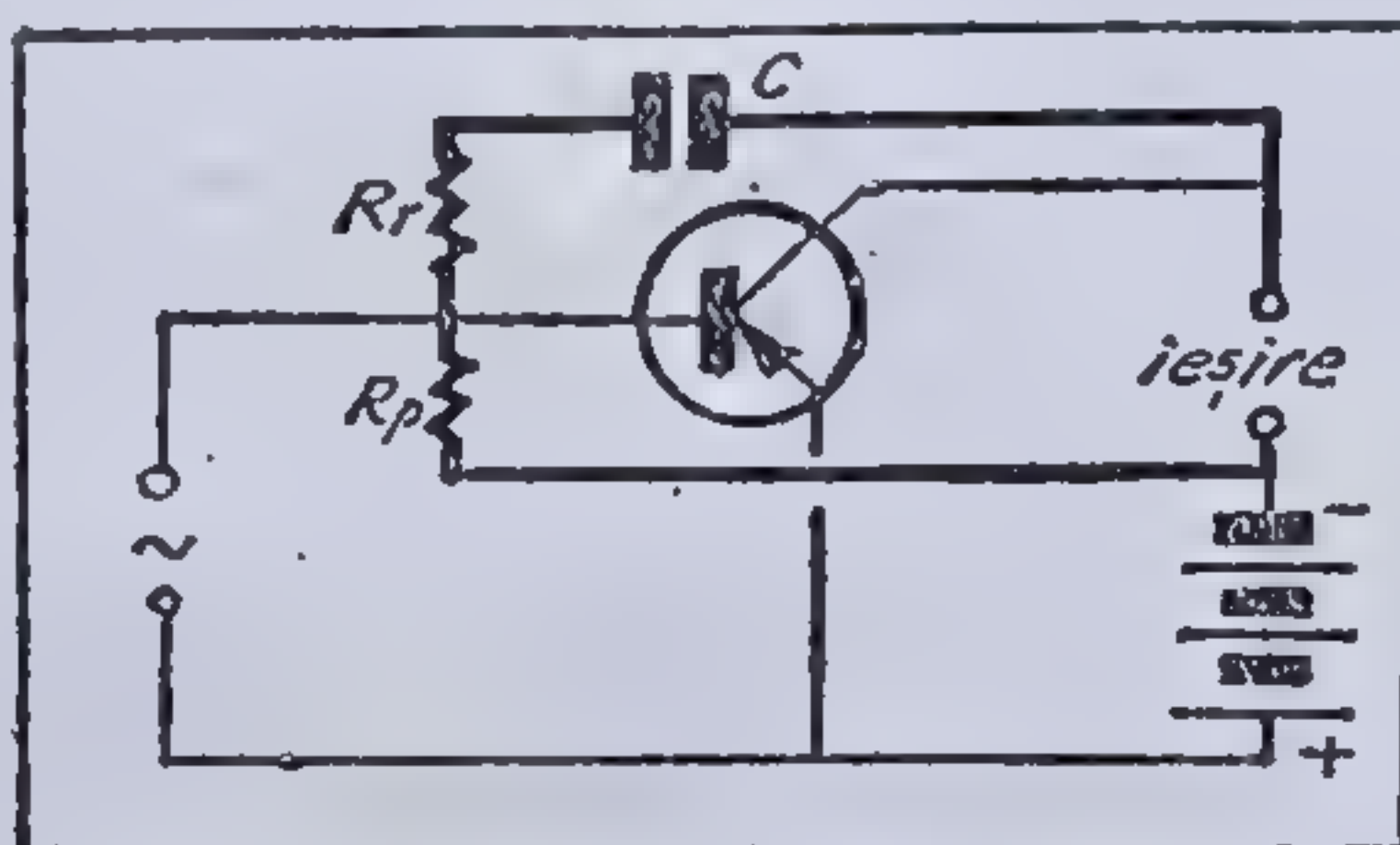
Îți voi arăta acum o schemă în care reacția negativă se realizează prin preluarea de la R_a a unei fracțiuni a tensiunii de ieșire. În acest scop, această fracțiune de tensiune este transmisă spre un divizor de tensiune R_f, R_g prin intermediul condensatorului C_2 . Valoarea raportului celor două rezistențe (R_f și R_g) permite stabilirea corectă a tensiunii de reacție.

IGNOTUS : Am impresia că schema precedentă, în care reacția negativă era realizată de rezistența R_g din circuitul catodului, se aseamănă destul de mult cu tipul de reacție negativă pe care l-ai folosit în cazul amplificatorului cu tranzistoare.

CURIOSUS : Ai dreptate. Acest tip de reacție negativă, aplicat atât în cazul tuburilor electronice cât și în cazul tranzis-

toarelor se numește *reacție negativă de curent*, deoarece ea este realizată de către curentul de ieșire.

Ultima schemă cu tuburi pe care ți-am arătat-o ilustrează tipul de *reacție negativă de tensiune*. Iată în continuare modul în care acest tip de reacție poate fi aplicat montajelor cu tranzistoare.



Reacție negativă de tensiune la etaj cu tranzistor.

Tensiunea variabilă de ieșire este aplicată prin condensatorul C , divizorului de tensiune format din rezistențele R_r și R_p . Astfel o fracțiune din această tensiune este aplicată la intrare.

IGNOTUS : Și eu cred că mă voi îndrepta repede spre ușă, deoarece dacă mă întorc tîrziu acasă, o pătesc.



Profesorul Radiol despre :

Circuite de cuplaj

Dat fiind că proprietățile tranzistoarelor, diferă esențial de cele ale tuburilor, cuplajele între etaje se realizează prin scheme speciale. În acest capitol profesorul Radiol vorbește despre acestea, explicând totodată funcționarea mai multor tipuri de etaje în contratimp, utilizate în radioreceptoare.

Ca să începem, trebuie să vă spun că ați procedat foarte bine, trecînd în revistă montajele cu reacție negativă. Dar acest lucru nu v-a mai lăsat timp pentru studiul diverselor moduri de cuplare a circuitelor echipate cu tranzistoare.

Este adevărat, că ați studiat cuplajul prin transformator. Să știi Ignotus că acest tip de cuplaj poate fi utilizat tot atît de bine în înaltă, în joasă cît și în frecvențele intermediare.

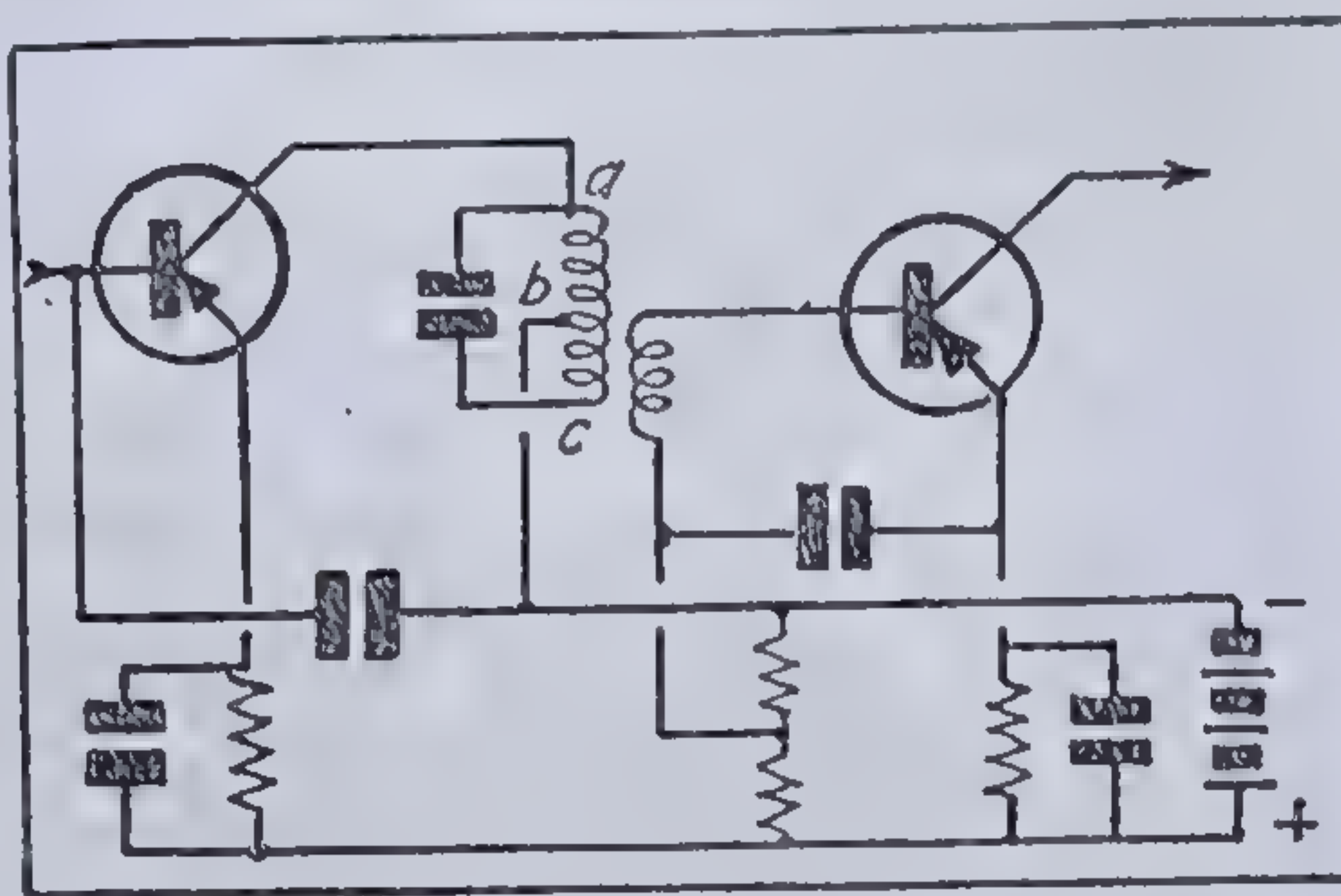
TRANSFORMATOARE DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ ȘI TRANSFORMATOARE DE FRECVENȚĂ INTERMEDIARĂ

În cazul acestor frecvențe înalte se utilizează circuite acordate, care formează primarul și secundarul sau cel puțin unul dintre ele. În înaltă frecvență aceste circuite sînt prevăzute cu acord variabil, fapt ce permite reglarea receptorului pentru a capta postul pe care dorim să-l ascultăm.

În cazul frecvențelor intermediare, acordul este fix.

Și în cazul acestor circuite se pune problema adaptării impedanțelor de intrare și de ieșire. Soluțiile găsite au dus tot la utilizarea transformatoarelor al căror raport de transformare corespunde celui pe care-l posedă impedanțele. În acest scop

se pot prevedea prize pe înfășurări astfel încât transformatorul să lucreze ca un *autotransformator*. Porțiunea de bobină parcursă de curentul de intrare joacă rolul primarului, iar totalitatea înfășurării constituie secundarul.

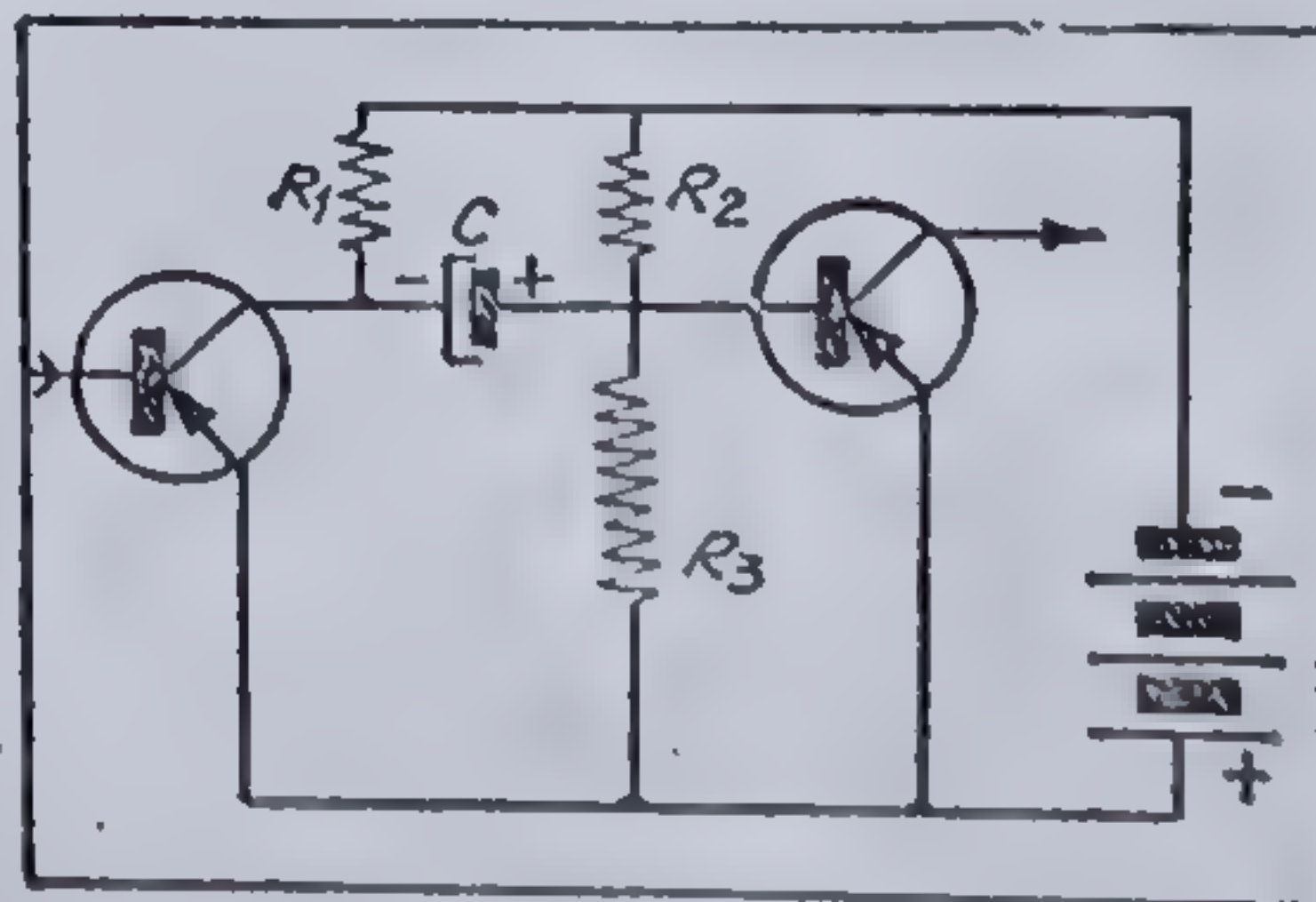


Cuplaj prin transformator
utilizat la etaje de I.F. sau
F.I.

În schema pe care o vedeți, porțiunea *a-b* formează primarul, în timp ce *a-c* constituie secundarul. Adevăratul secundar este indus de totalitatea înfășurării primare.

CUPLAJ PRIN REZISTENȚĂ ȘI CAPACITATE

Deoarece acum vă dați seama de analogia dintre tuburi și tranzistoare, îmi închipui că vă îndoiiți că în schemele care utilizează pe cele din urmă poate exista un cuplaj între etaje realizat cu rezistență și condensator.



Cuplarea între două etaje de amplificare echipate cu tranzistoare se poate realiza și prin rezistență și capacitate (cuplaj RC).

În schema de mai sus, vedeți că R_1 reprezintă rezistența de sarcină a primului tranzistor. Căderile de tensiune variabile ce au naștere pe ea datorită curentului de colector sînt aplicate prin condensatorul C , pe baza celui de-al doilea tranzistor. Res-

pectiva bază este polarizată prin divizorul de tensiune R_2 și R_3

Bineînțeles că sînteți surprinși de simbolul condensatorului C , simbol utilizat de fapt pentru condensatoarele electrolitice și mă veți întreba de ce este necesar aci un condensator de cuplaj de capacitate mare avînd o valoare de ordinul zecilor de microfarazi (10^{-6} F).

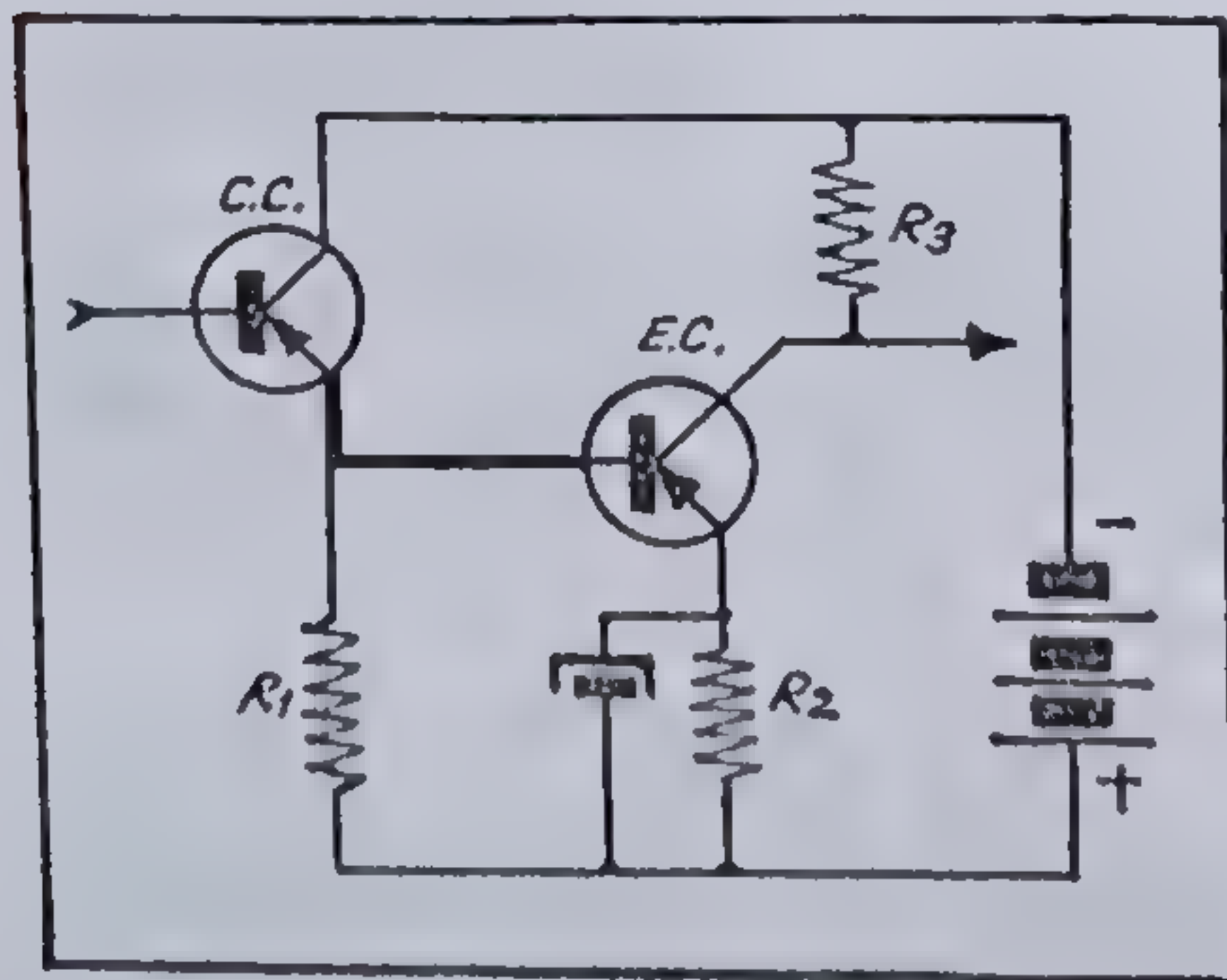
Cauza constă numai în valoarea mică a rezistenței de intrare ce caracterizează de fapt tranzistoarele. În plus rezistențele R_2 și R_3 trebuie de asemenea să posede valori destul de mici, de ordinul sutelor pînă la maximum o mie de ohmi, în timp ce la montajele cu tuburi rezistența de scurgere a grilei era în general 1 megohm ($M\Omega$).

Deoarece valoarea lui R_3 este atît de mică, valoarea lui C nu poate fi prea mare, deoarece tensiunea variabilă de pe R_1 este aplicată pe baza tranzistorului următor printr-un fel de divizor de tensiune format din C în serie cu R_3 . Dacă valoarea capacității este mare în raport cu valoarea lui R_3 , bazei nu i se va mai aplica decît o fracțiune foarte mică din tensiunea de ieșire a primului tranzistor.

CUPLAJ DIRECT

După cele discutate veți avea impresia că utilizarea semiconductorilor pune probleme mult mai complexe decît cea a tuburilor electronice.

Ei bine am să vă asigur și totodată am să vă demonstrez că se pot realiza cuplaje directe fără condensator chiar în circuitele echipate cu tranzistoare.



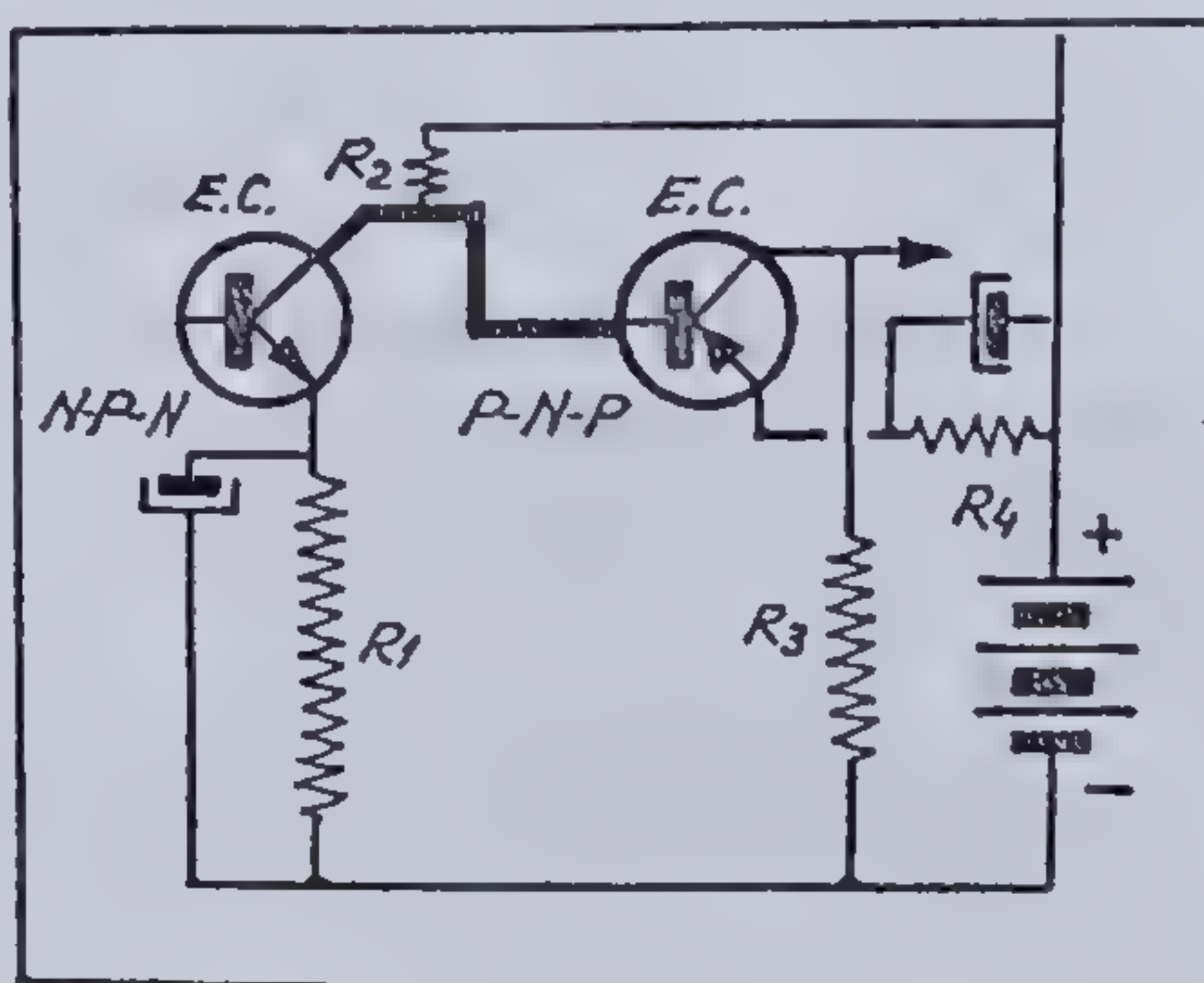
Cuplaj direct prin intermediul rezistenței R_1 conectată între ieșirea primului etaj și intrarea celui de-al doilea.

Nu vă mirați, este adevărat că există posibilitatea cuplării directe între două tranzistoare. În acest scop primul tranzistor este montat în colector comun, iar al doilea în emitor comun. Pe schema respectivă cuplajul direct este desenat printr-o linie groasă care unește emitorul primului etaj cu baza celui de al doilea.

Astfel tensiunile variabile ce iau naștere pe rezistența de sarcină R_1 (parcursă de curentul de emitor) se aplică direct pe baza tranzistorului următor. Căderea de tensiune realizată pe R_1 de către componenta continuă a curentului primului tranzistor negativează baza celui de al doilea față de emitorul respectiv.

Și totuși, în acest montaj există un condensator electrolitic. Acesta servește însă numai pentru scurtcircuitarea din punct de vedere alternativ a rezistenței R_2 , rezistență ce asigură compensarea termică a tranzistorului montat în emitor comun.

Cuplare directă între două etaje de amplificare echipate cu tranzistoare. Primul etaj posedă tranzistor *nnp*, iar cel de-al doilea cu tranzistor *npn*.



Cuplajul direct în montajele cu tranzistoare se mai pot realiza de asemenea într-o schemă în care colectorul primului tranzistor este cuplat la baza celui următor, dar de data aceasta tranzistoarele sînt de tipuri diferite și anume primul *nnp*, iar al doilea *npn*. În această schemă ambele tranzistoare sînt montate în emitor comun.

Tensiunile variabile realizate pe R_2 prin parcurgerea sa de către curentul de colector, se aplică direct pe baza tranzistorului următor (*npn*). Dar nici aci nu lipsesc rezistențele de stabilizare termică (R_1 și R_4) ce sînt conectate în paralel cu condensatoarele electrolitice respective.

Cuplajul direct pe care vi l-am prezentat în ultimele scheme prezintă avantaje foarte mari. În cazul cuplajului prin conden-

sator, reactanța acestuia variază funcție de frecvența semnalului. La frecvențe joase valoarea sa devine foarte mare.

În cazul cuplajului direct, problema respectivă nu se mai pune. În consecință schemele respective pot amplifica chiar tensiuni continue, înțelegînd prin acestea tensiuni a căror variație este slabă, de frecvență foarte scăzută, uneori chiar zero.

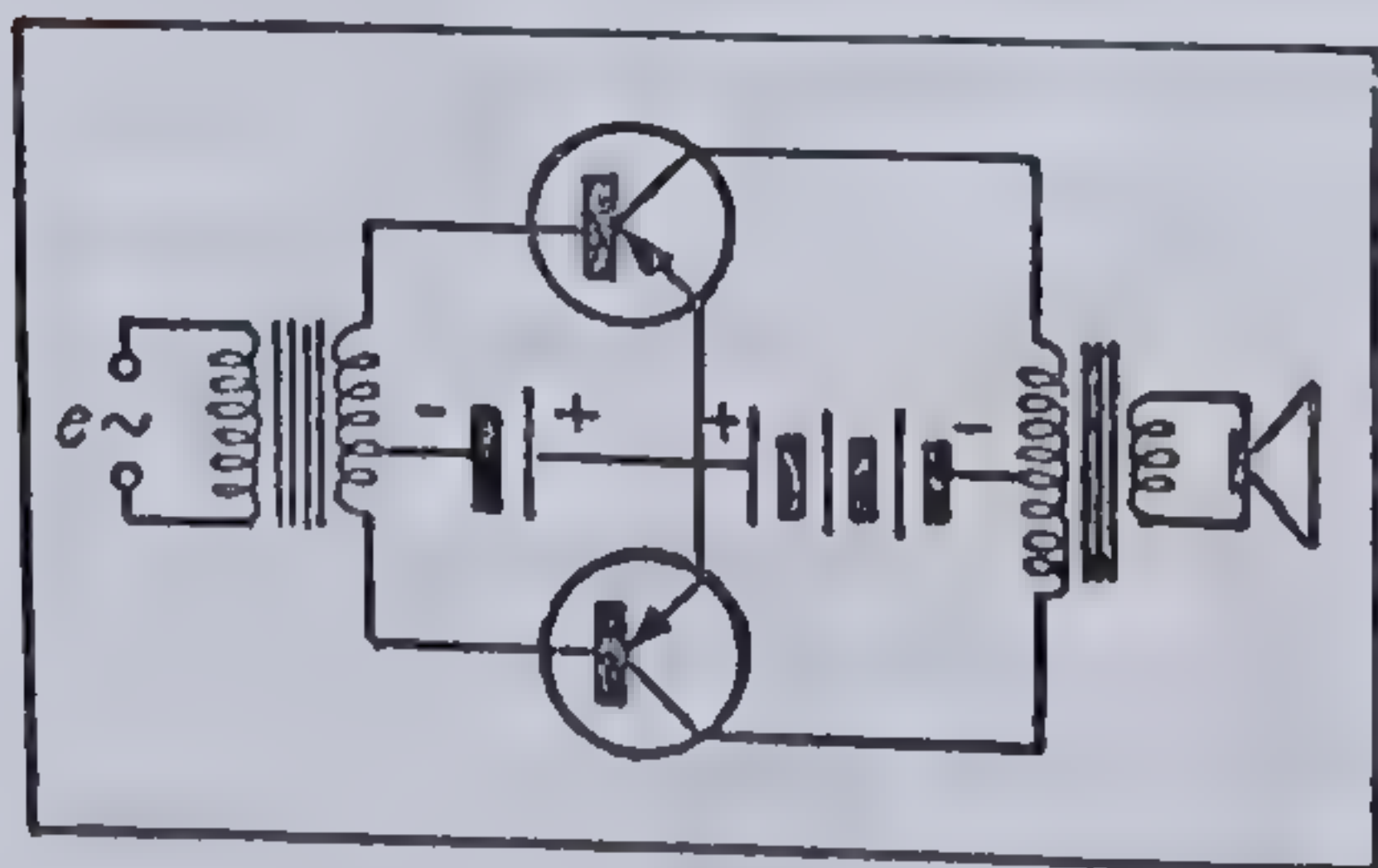
MONTAJ ÎN CONTRATIMP CU TRANZISTOARE

Să revenim totuși, din nou la amplificarea tensiunilor variabile și fără să ne îndepărtăm prea mult de cele continue, să examinăm acum componența și funcționarea etajelor de joasă frecvență.

Cuplajul între aceste etaje poate fi realizat atît cu transformatoare de joasă frecvență cu miez magnetic cît și cu cuplaj $R-C$ (rezistență-condensator). Să trecem însă peste aceste montaje deoarece în prezent cunoașteți esențialul schemelor unor astfel de montaje.

Deosebit de interesante în domeniul tranzistoarelor sînt circuitele de ieșire, realizate cu montaje în contratimp. Veți vedea că în acest caz se pot realiza lucruri destul de diferite față de cele realizate în acest tip de montaje echipate însă cu tuburi.

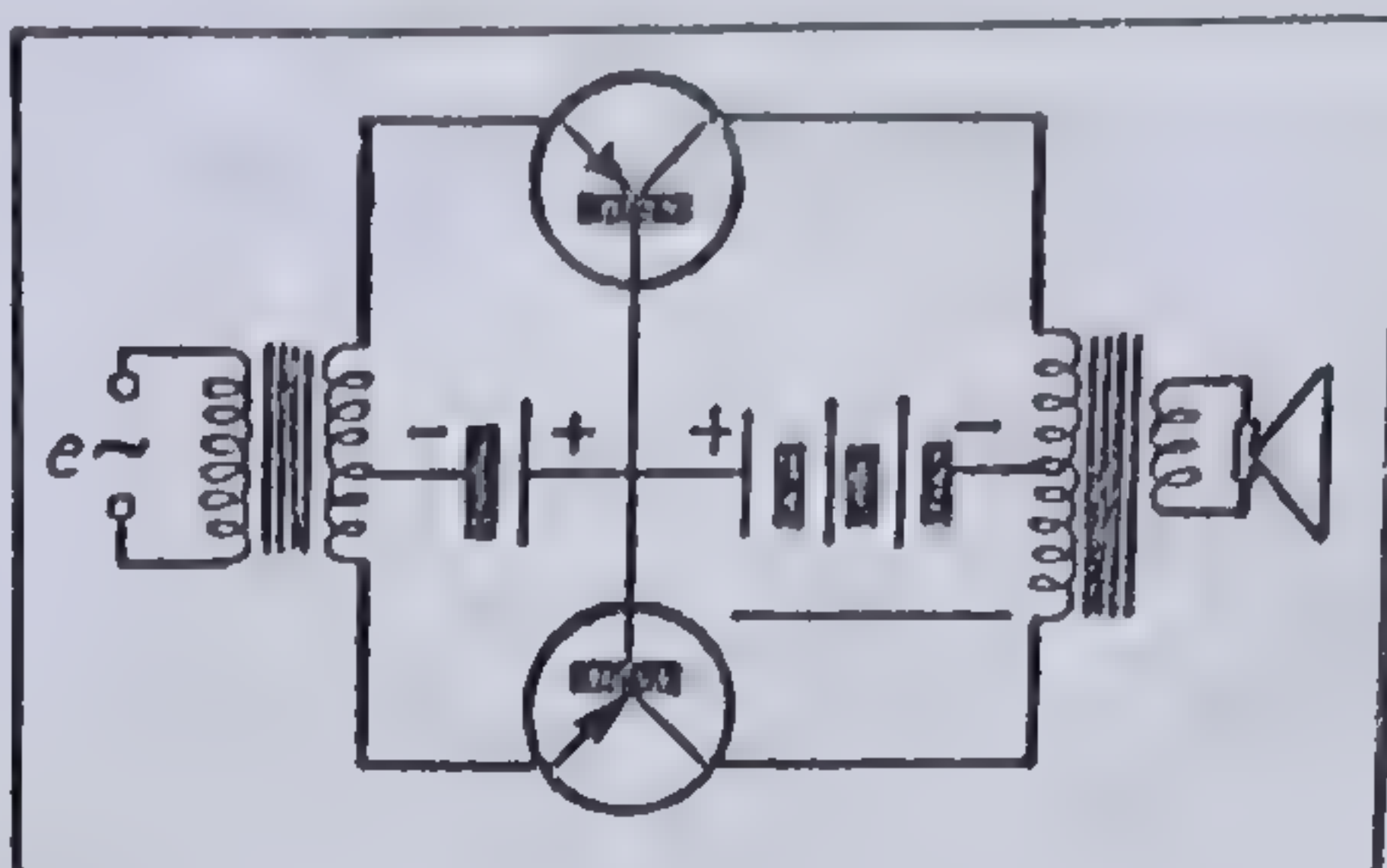
Iată scheme de montaje în contratimp în care defazajul este realizat cu ajutorul unui transformator cu priză mediană în secundar. Prima schemă utilizează tranzistoare montate în emitor comun; în cea de a doua acestea sînt montate în bază comună.



Montaj în contratimp ce utilizează tranzistoare montate în emitor comun.

În scopul realizării unor scheme cît mai simple și clare, am polarizat bazele cu ajutorul unor baterii. În realitate polari-

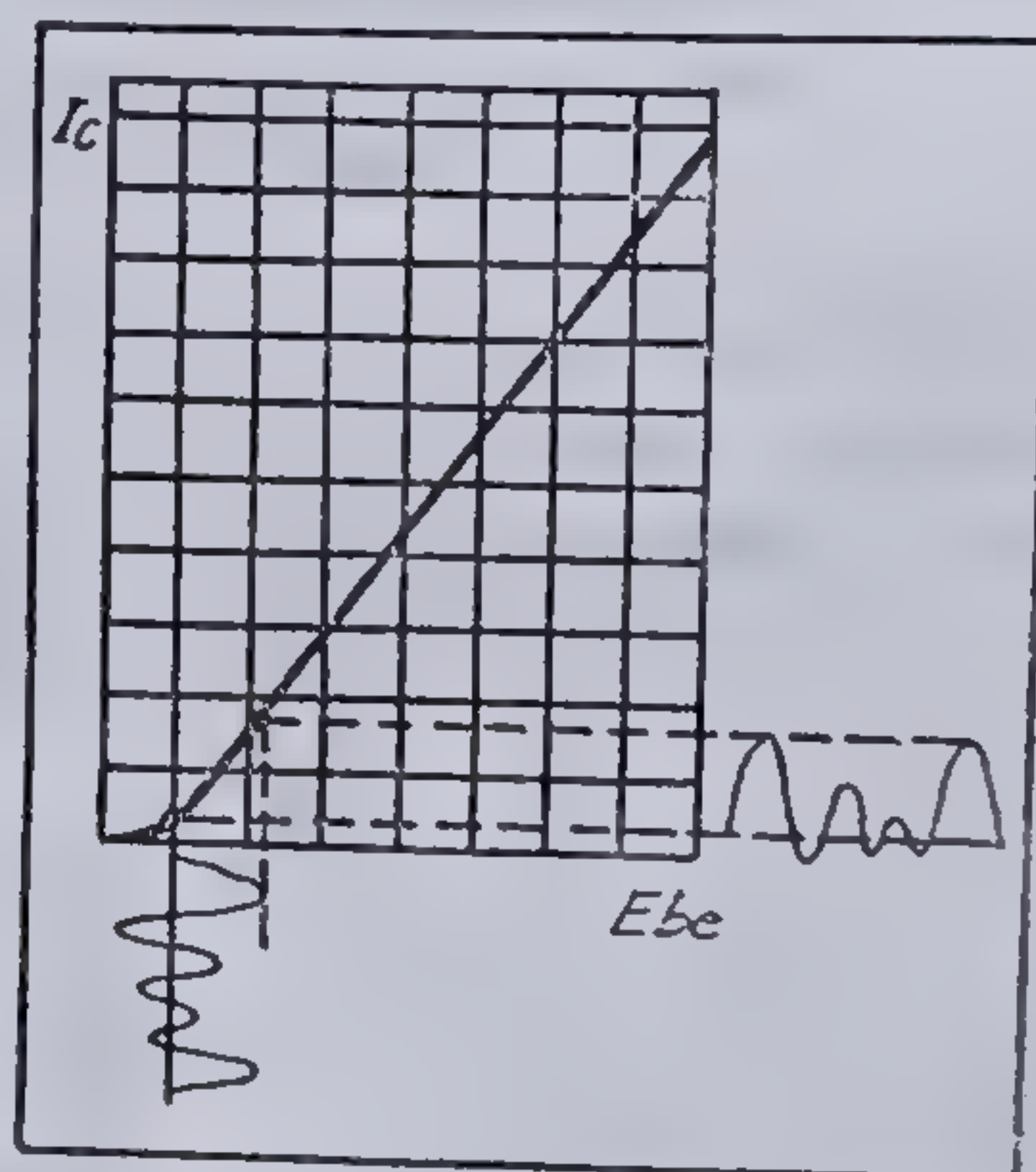
Montaj în contratimp ce utilizează tranzistoare montate în bază comună.



zarea acestora este asigurată fie printr-o cădere de tensiune pe o rezistență, fie cu ajutorul unui divizor rezistiv de tensiune. De altfel cunoașteți ambele procedee.

Ceea ce nu este figurat în aceste scheme, este faptul că polarizării i se poate da o astfel de valoare, încât în lipsa semnalului variabil, curentul de colector să fie practic zero. În acest mod alternanța pozitivă a semnalului dă naștere curentului de colector într-unul din tranzistori, în timp ce alternanța negativă va face același lucru pentru celălalt.

Funcționarea unui tranzistor în clasă B. Curba caracteristică indică variația curentului de colector funcție de tensiunea bază-emitor.

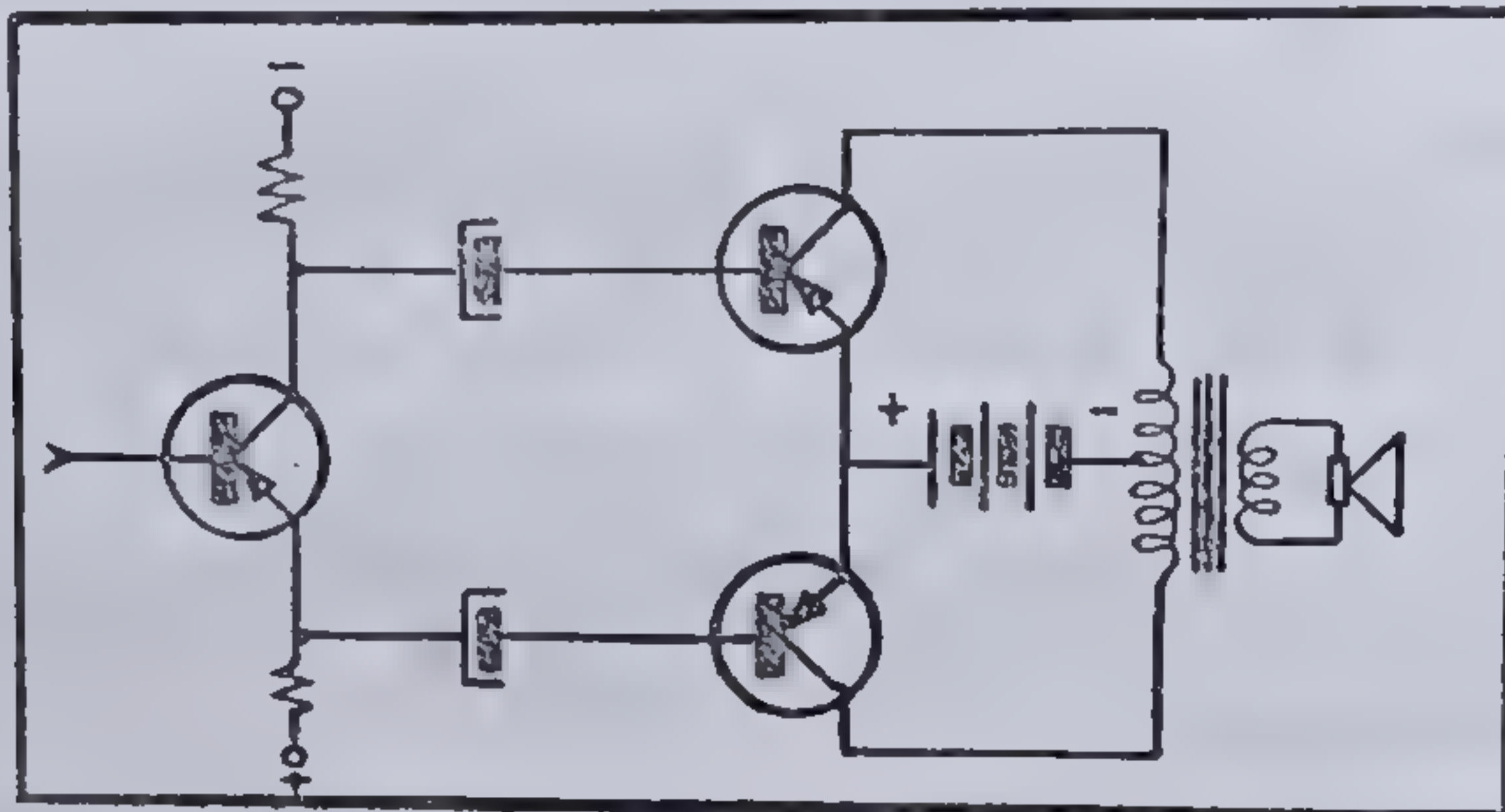


În cazul schemei posedând un singur tranzistor, aceasta ar da naștere unei amplificări simultane cu o detecție, deoarece se amplifică o singură alternanță pentru fiecare perioadă. În cazul etajului în contratimp, transformatorul de ieșire (final) primește alternativ una din cele două alternanțe amplificate de tranzistoarele respective.

În așa fel încât se asigură astfel o bună amplificare având în plus avantajul unui consum minim de curent, fapt ce permite o bună utilizare a bateriei de alimentare.

CU SAU FĂRĂ DEFAZARE

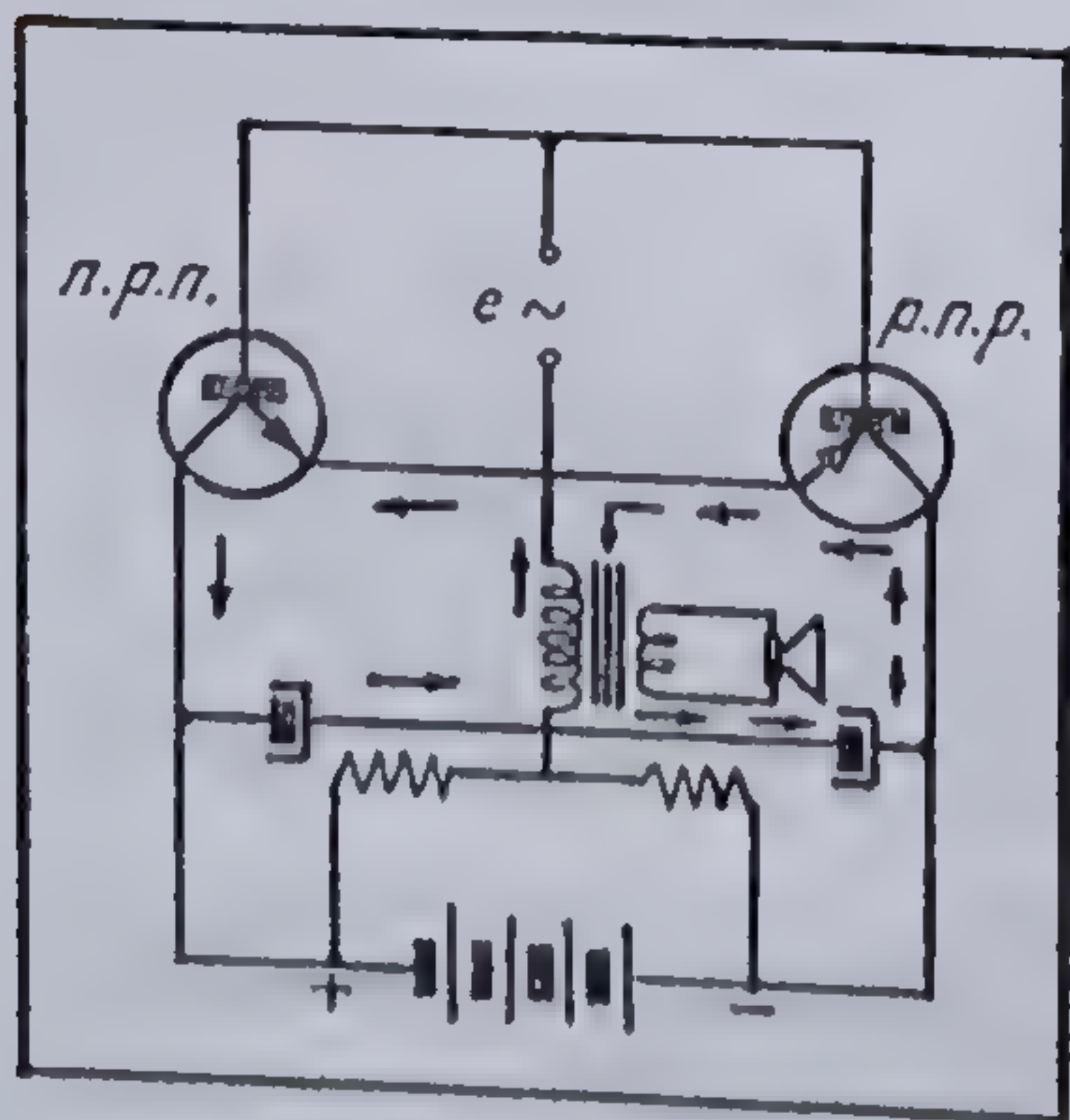
Se mai poate economisi încă ceva și anume transformatorul defazor. La fel ca și la montajele cu tuburi electronice, circuitul repetor catodic permite defazarea tensiunilor cu ajutorul rezistențelor de sarcină conectate în circuitele anodului



Montaj în contratimp în care defazajul de 180° este asigurat cu ajutorul unui tranzistor.

și catodului, obținând în acest fel tensiuni defazate cu 180° una față de cealaltă, în ieșirile de pe anod și catod în cazul tuburilor, sau colector și emitor în cazul tranzistoarelor.

Iar acum vă voi arăta cel mai curios montaj în contratimp și anume acela care nu necesită nici un fel de dispozitiv de



Montaj în contratimp compus din două tranzistoare complementare, unul pnp, iar celălalt npn. Tensiunea de intrare e se aplică simultan ambelor tranzistoare.

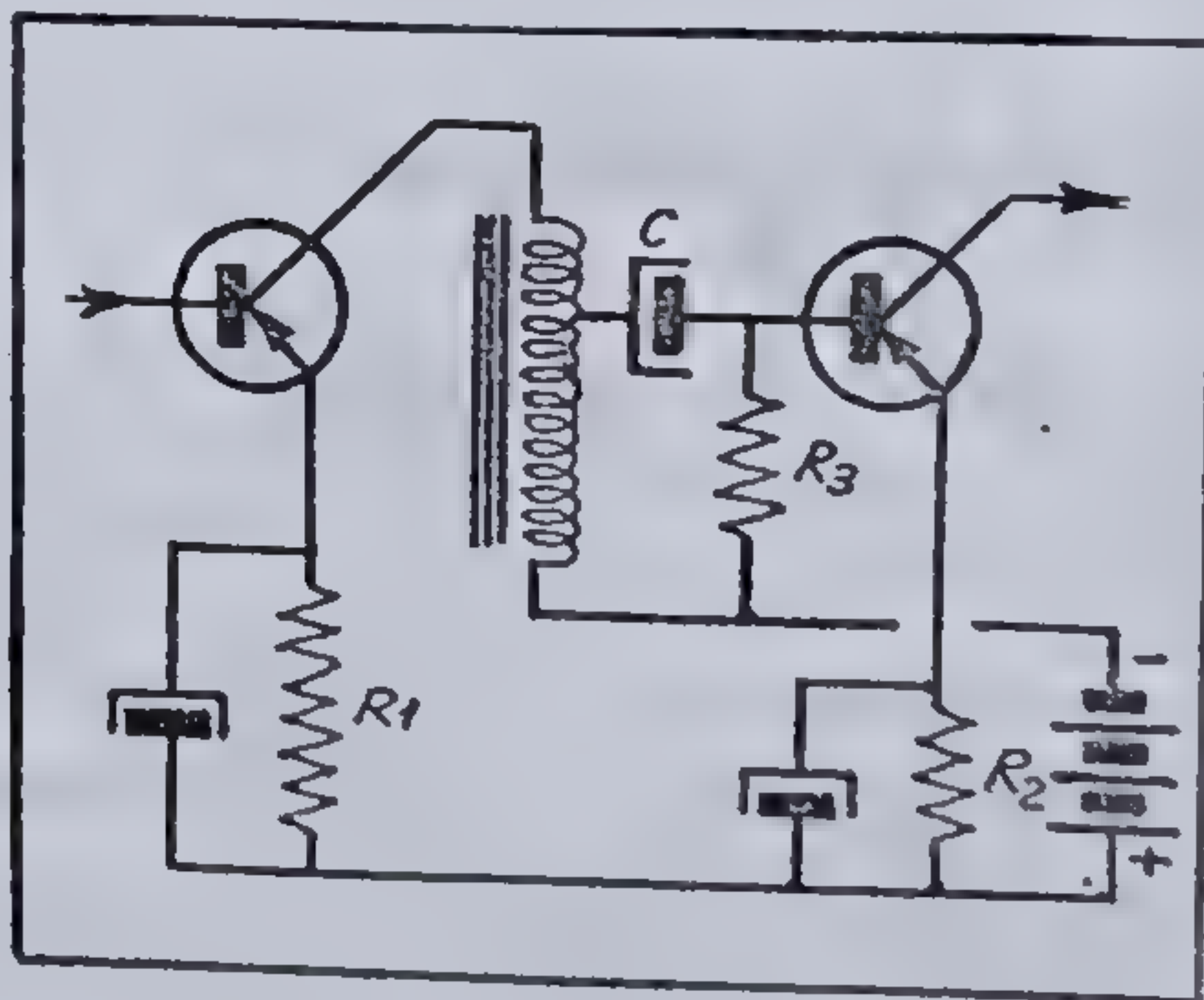
defazare. Cum ? Foarte simplu, se realizează prin utilizarea a două tranzistoare de tipuri diferite unul *nnp*, iar celălalt *pnp*.

În schema pe care o vedeți, atât tranzistorul *pnp* cât și cel *nnp* sînt montate în emitor comun. În momentul în care una din alternanțe pozitivează bazele, curentul de colector al tranzistorului *nnp* crește, în timp ce cel al tranzistorului *pnp* se anulează, astfel încît prin primarul transformatorului de ieșire curentul circulă de jos în sus. În alternanța următoare, bazele devin negative, este deci rîndul tranzistorului *pnp* să conducă, iar sensul curentului în primarul transformatorului se schimbă. Constați că acest transformator nu mai are nevoie de priză mediană în primar.

Vedeți deci că, datorită tranzistoarelor, se pot realiza montaje de o concepție mult mai elegantă decît cea a schemelor cu tuburi electronice. Și încă nu le cunoașteți pe toate.....

CUPLAJUL MIXT

Pentru a încheia, vă prezint acum schema amplificatorului de joasă frecvență cu cuplaj mixt, realizată atât cu autotransformator adaptor de impedanță cît și prin cuplaj *RC*.



Etaje de J.F. cu cuplaj mixt prin autotransformator, condensator și rezistență.

Examinați-o atent. Cunoașteți acum destul de bine tehnica tranzistoarelor pentru a-l înțelege ușor funcționarea.
Vă urez succes !

Convorbirea a 13-a

Superheterodina cu tranzistoare

Montajele cu tranzistoare prevăzute cu reacție permit de asemenea realizarea oscilatoarelor cu tranzistoare. Acestea se utilizează, printre altele și în schimbătoarele de frecvență (mixere) ale superheterodinilor.

Reglarea antifeding, în cazul tranzitoarelor, dă naștere unor combinații ce pot fi eliminate cu ajutorul unei diode care amortizează circuitul de acord.

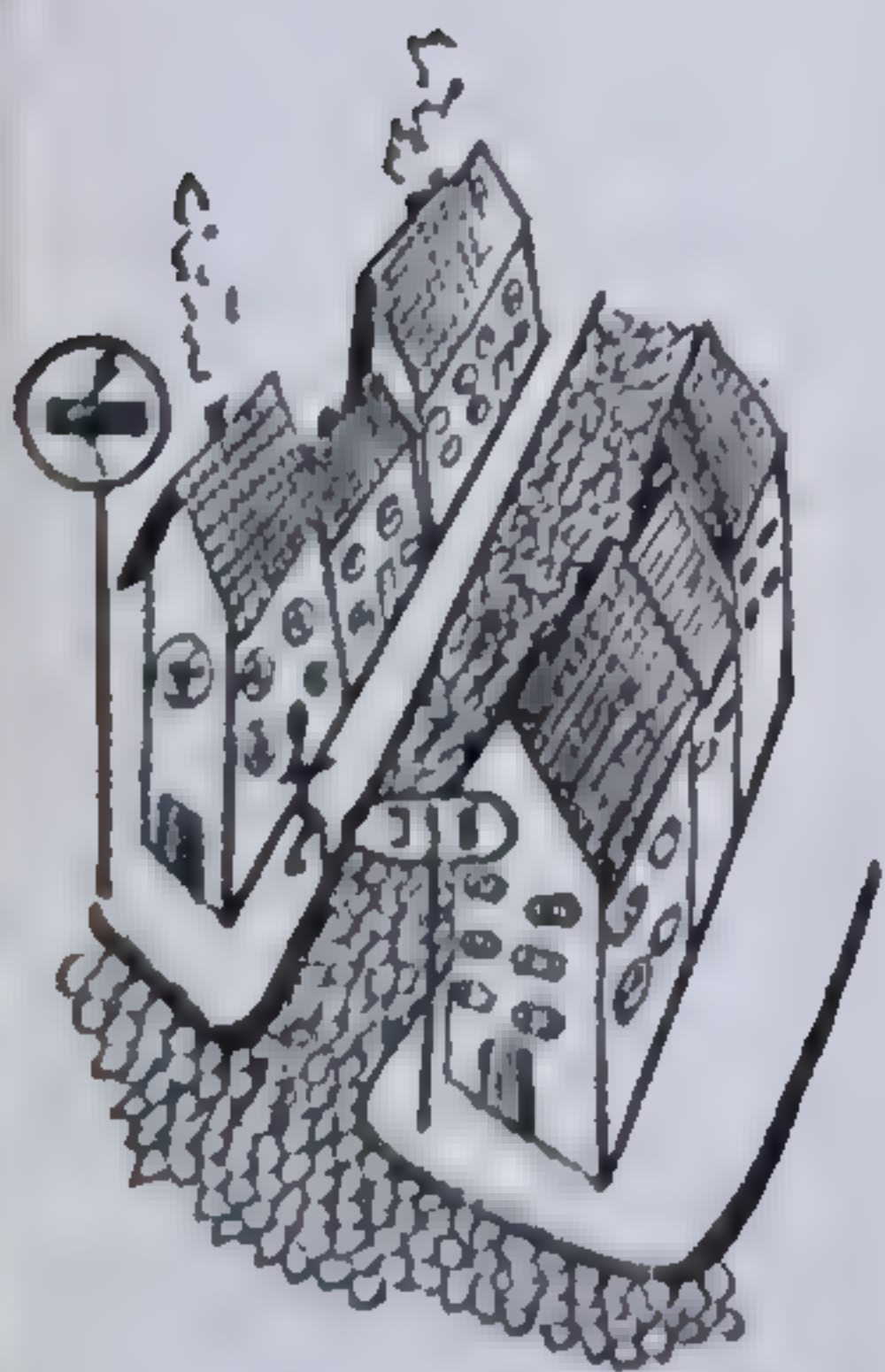
Cu această ocazie, amicii noștri termină studiul utilizării semiconductoarelor în diverse etaje ale radioreceptoarelor.

ACȚIUNEA REACȚIEI

IGNOTUS : De când unchiul tău și cu tine îmi tot explicați diverse montaje cu tranzistoare, am o senzație foarte curioasă : am impresia că mă plimb pe o stradă cu semiconductoare paralelă cu o stradă cu tuburi cu vid. Cele două străzi se aseamănă extraordinar și totuși când stai și examinezi mai atent clădirile, constăți o multime de diferențe.

CURIOSUS : Nimic ulmitor. Tranzistoarele trebuie să îndeplinească aceleași funcțiuni ca și tuburile electronice. Până acum ai învățat felul în care se amplifică tensiunile, modul de concepție sau de realizare a etajelor de putere, detecția cu diode semiconductoare, precum și diverse tipuri de reacție negativă.

IGNOTUS : În schimb nu mi-ai explicat care sînt tipurile de reacție ce se utilizează în cazul tranzistoarelor. Îmi aduc aminte că în cazul tuburilor electronice reacția era realizată prin aplicarea pe intrarea tubului a unei fracțiuni din curenții amplificați de ieșire. În general se realizează prin inducție între circuitul anodic și cel de grilă.

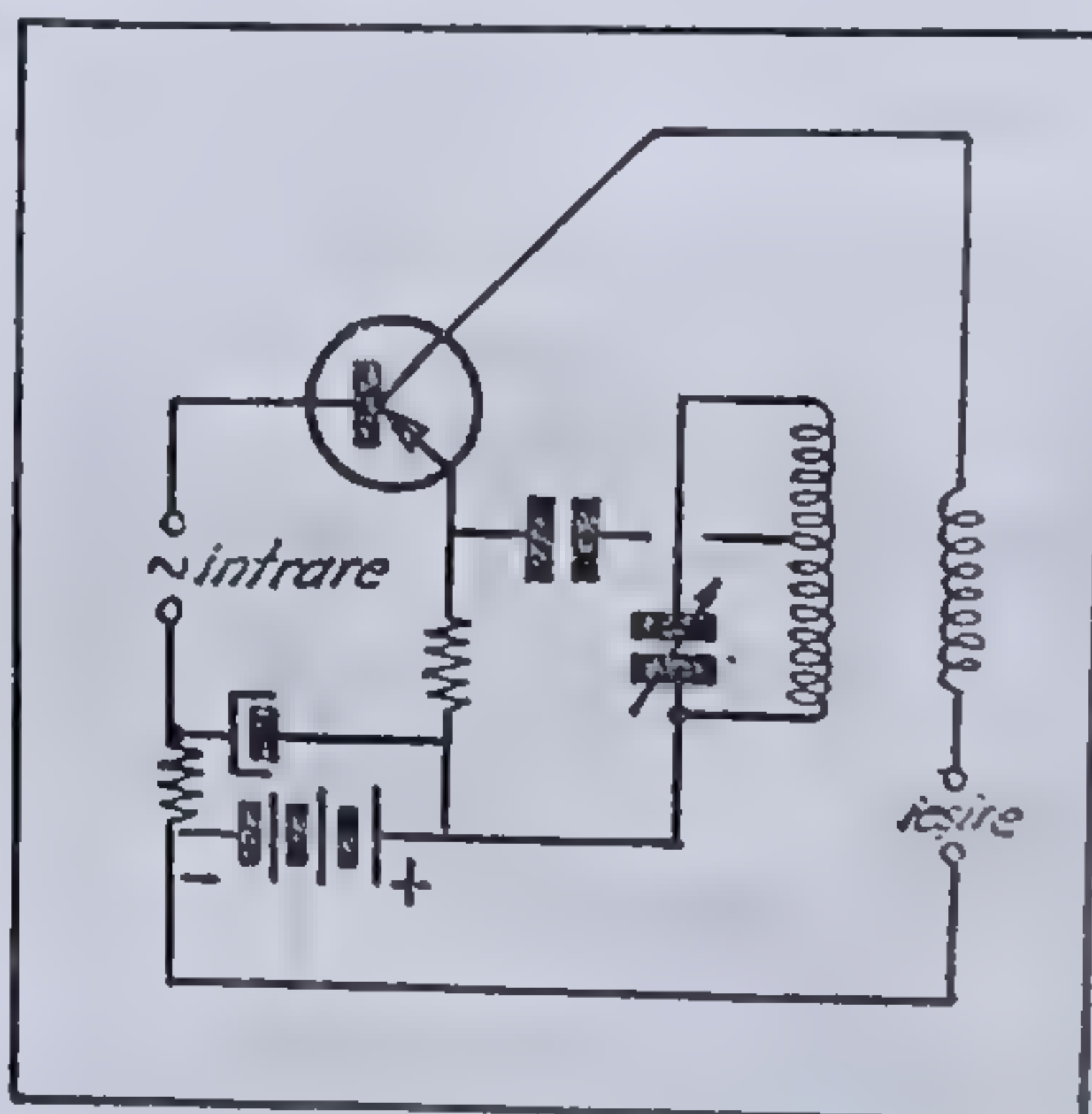
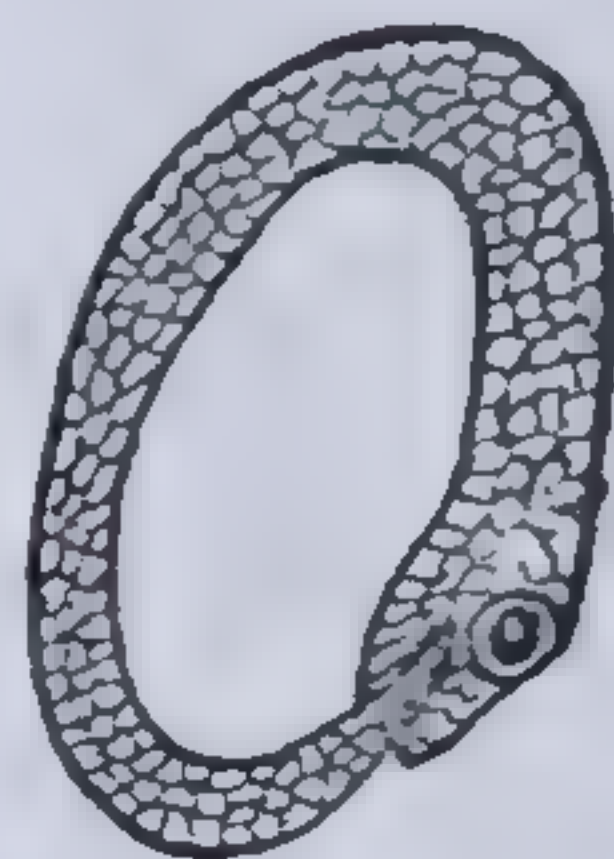
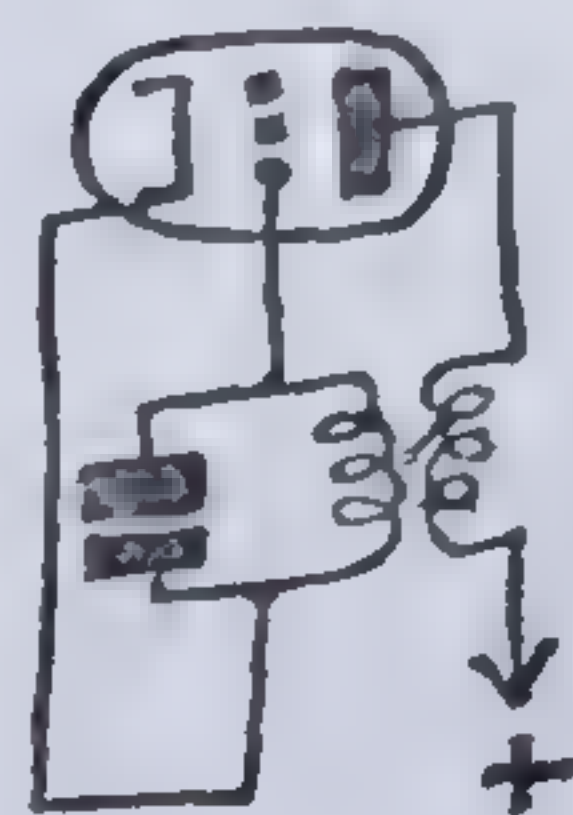


Îmi este imposibil, cînd este vorba de reacție să nu-mi imaginez un șarpe care își mușcă propria sa coadă...

De asemenea îmi aduc aminte că reacția pozitivă permite creșterea factorului de amplificare, îmbunătățind astfel sensibilitatea radioreceptoarelor. Dacă însă ea continuă să crească se va realiza un generator de oscilații sinusoidale. Acesta nu este necesar numai în emițătoare, pentru obținerea curenților purtători de înaltă frecvență, dar și în receptoarele superheterodină, pentru asigurarea schimbării de frecvență prin interferență cu curenții captați de antenă.

CURIOSUS : Memoria dumată, dragă prietene îmi face o reală plăcere, deoarece îmi va simplifica explicațiile pe care urmează să ți le dau.

Schema pe care ți-o prezint este aproape identică cu cea a montajelor cu reacție echipate cu tuburi electronice. Ea conține circuitul acordat conectat în intrarea tranzistorului, între bază și emitor. Circuitul este legat la cei doi electrozi prin condensatoare care scurtcircuitază sau lasă să treacă componentele alternative ale semnalului.



Schimbător de frecvență (mixer). Tranzistorul produce oscilațiile proprii montajului și le suprapune celor captate prin semnalele de intrare. .

Ținîndu-se seama de rezistența mică de intrare a tranzistorului, în paralel cu acesta nu s-a conectat decît o mică fracțiune din bobinajul circuitului acordat. Modul acesta de conectare împiedică amortizarea mare a circuitului menționat, fapt ce ar duce la reducerea selectivității.

IGNOTUS : După cum văd curenții de reacție sînt induși în această bobină prin intermediul unei înfășurări cuplate inductiv cu înfășurarea din circuitul de ieșire parcursă de curentul amplificat de colector.

CURIOSUS : Exact. Constați deci cît de bine se aseamănă reacția din acest montaj cu cea realizată cu tuburi electronice.

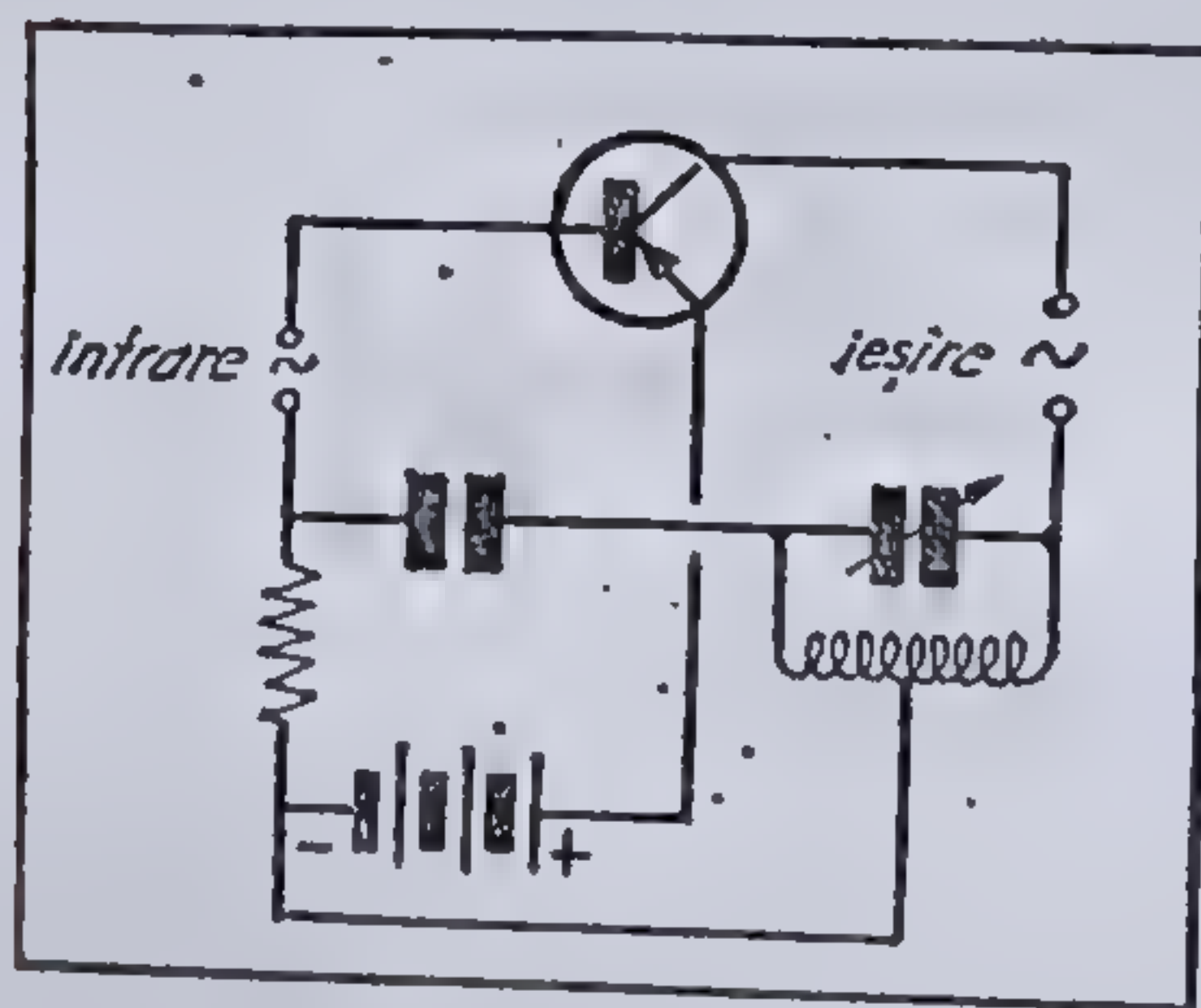
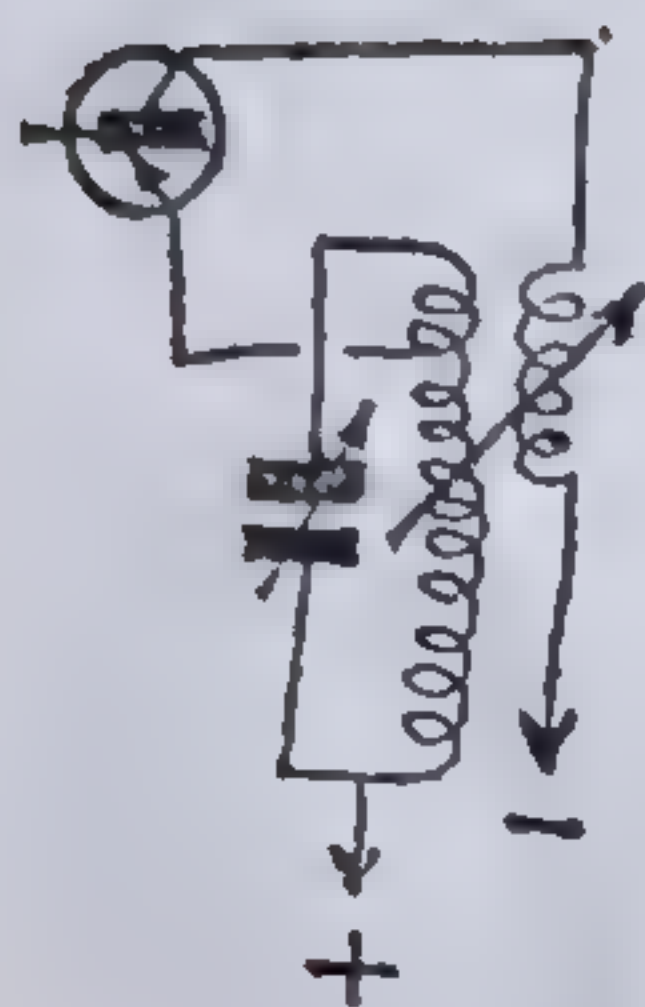
De altfel aci se mai poate realiza și o detecție cu reacție. În acest caz cuplajul între cele două înfășurări este reglabil, iar polarizarea bazei trebuie aleasă, astfel încât însuși tranzistorul să asigure detecția.

IGNOTUS : N-am văzut încă receptoare cu tranzistoare în care prin deplasarea înfășurării de reacție să se regleze cantitatea acestuia.

CURIOSUS : Ceea ce era posibil în unele montaje echipate cu tuburi, nu mai este valabil în cele cu tranzistoare. Aci reacția este utilizată mai mult pentru a da naștere unor oscilații de care avem nevoie în schimbarea de frecvență.

În acest scop, vezi schema, circuitul acordat este plasat în intrare, cu alte cuvinte el este acela care primește undele captate de antenă, în timp ce în ieșire se conectează primarul acordat al primului transformator de frecvență intermediară.

IGNOTUS : Iată-ne ajunși în sfârșit la montajul superheterodină. Dar înainte de a-l discuta în detaliu, ași vrea să-ți pun o întrebare indiscretă : se poate realiza cu tranzistoare un oscilator de tip Hartley (oscilator cu cuplaj inductiv, în trei puncte) în care curentul amplificat de ieșire să parcurgă o porțiune a înfășurării circuitului oscilant ?



Oscilator în trei puncte (tip Hartley).

CURIOSUS : Nimic mai simplu. Montajul ți l-am desenat mai sus. În această schemă, curentul de colector parcurge jumătate din înfășurarea circuitului oscilant.

REGULATOR DE FEDING

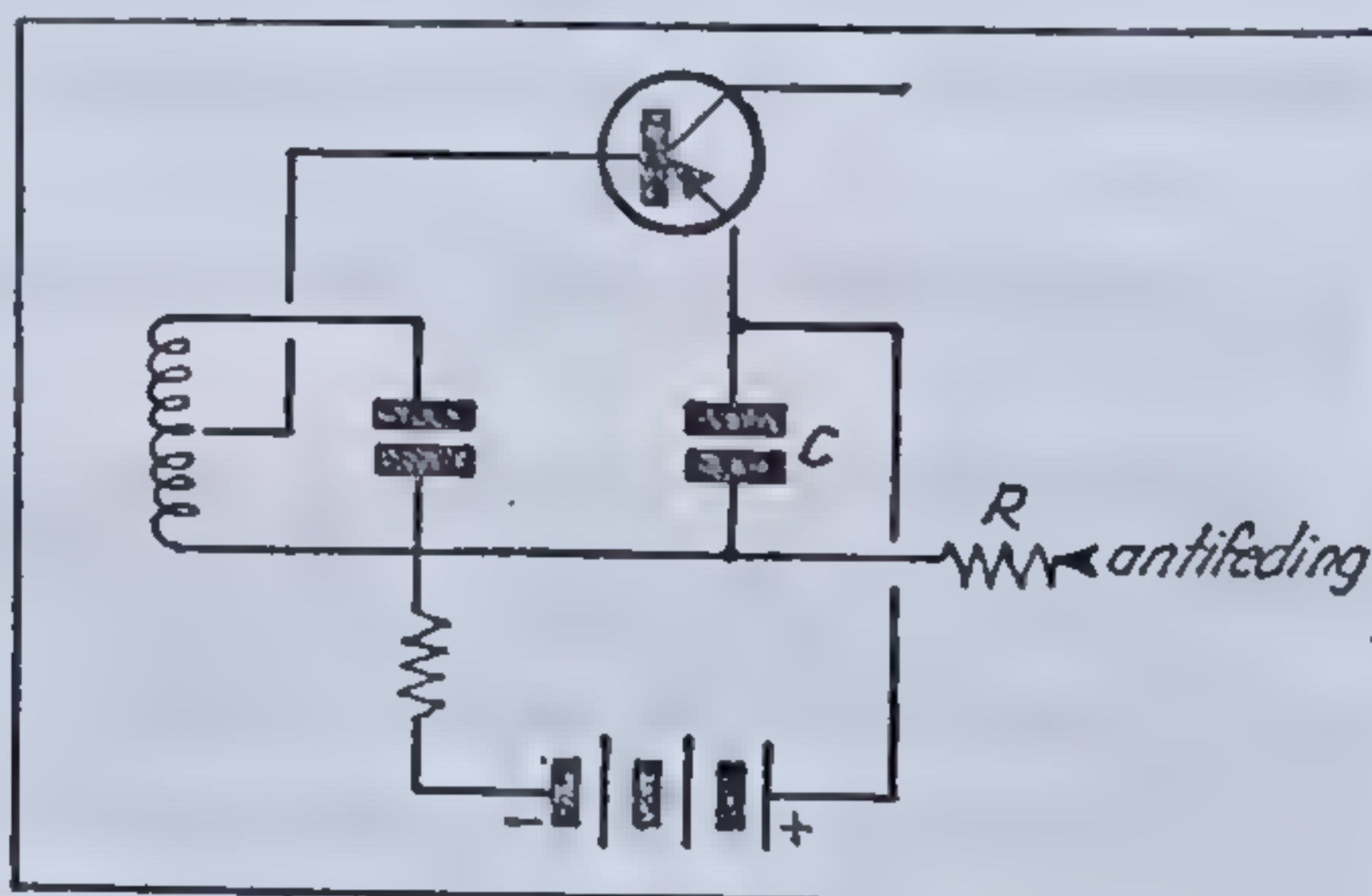
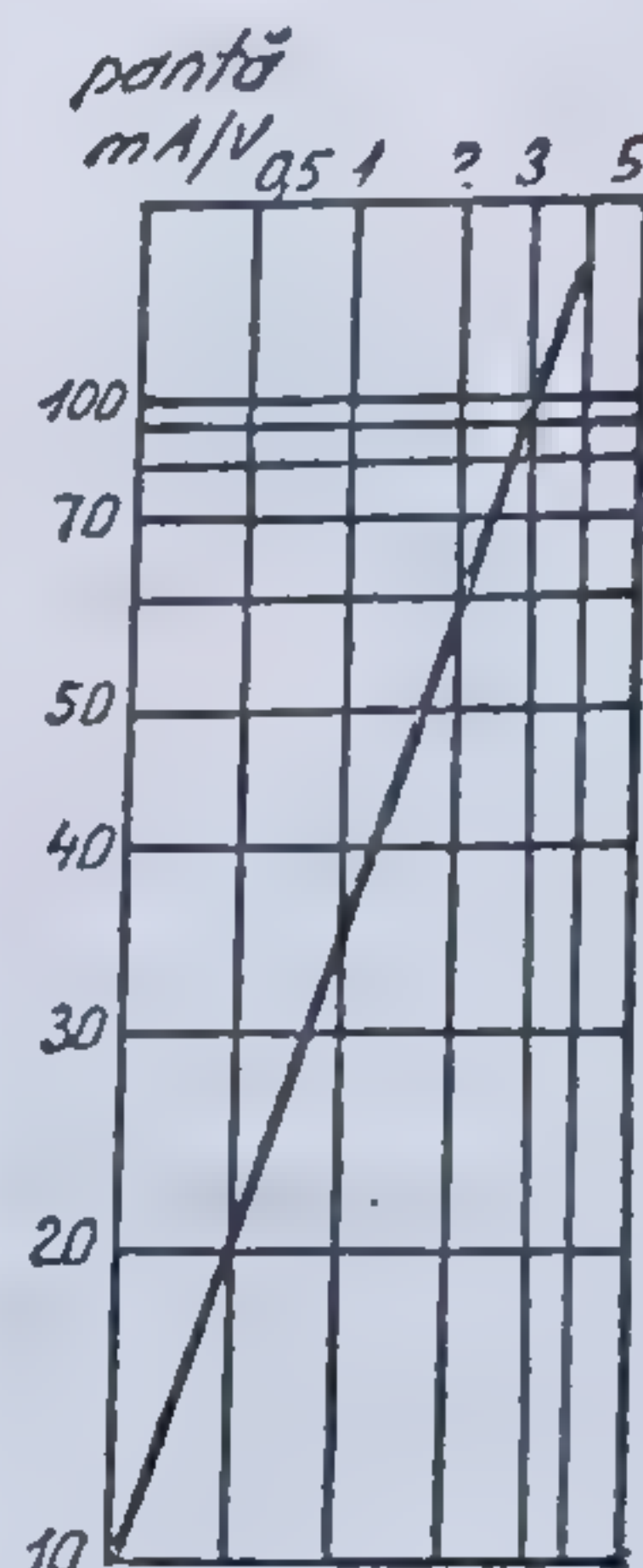
IGNOTUS : Deoarece vorbim de trimiterea înapoi a unor tensiuni amplificate, faptul acesta mă face să mă gândesc la reglarea antifeding. În situația aceasta tensiunile amplificate

sînt preluate după detecție și trimise înapoi spre tuburile amplificatoare de înaltă frecvență sau frecvență intermediară pentru a acționa asupra pantei variabile. Ași vrea să te întreb dacă procedeul realizat în cazul tuburilor se poate aplica și în schemele cu tranzistoare?

CURIOSUS: Exact la fel. Panta tranzistorului depinde de intensitatea curentului său de emitor. La rîndul său aceasta variază în funcție de potențialul bazei. În consecință, aplicînd pe bază tensiuni antifeding, se modifică amplificarea tranzistorului, mărind-o în cazul în care din cauza fedingului, tensiunile de înaltă frecvență din antenă sînt mai slabe.

IGNOTUS: De fapt și în acest caz reglarea antifeding este tot atît de simplă ca și la receptoarele cu tuburi. Tensiunea detectată este nivelată printr-o rezistență R și capacitatea unui condensator C , fiind aplicată apoi pe baza tranzistoarelor de IF sau de FI.

CURIOSUS: Din păcate, dragă Ignotus, în cazul tranzistoarelor lucrurile sînt mai complicate decît la tuburi. Nu uita că



Tensiunile antifeding se aplică aci pe baza tranzistorului.

circuitul de intrare posedă aci o rezistență relativă redusă. Această rezistență emitor-bază mai este, în plus, conectată în paralel pe circuitul acordat.

Ori, în momentul în care tensiunea de reglare antifeding face ca potențialul bazei să varieze, aceasta nu are ca efect numai modificarea amplificării, ci totodată și valoarea rezistenței de intrare. Creșterea valorii acesteia duce la micșorarea amortizării circuitului acordat, selectivitatea acestuia mărindu-se.

IGNOTUS: Cu atît mai bine.

CURIOSUS: Nu, dragul meu. Un exces de selectivitate reduce mult prea mult lărgimea benzii frecvențelor acceptate de circuit, astfel încît frecvențele mai îndepărtate de frecvența



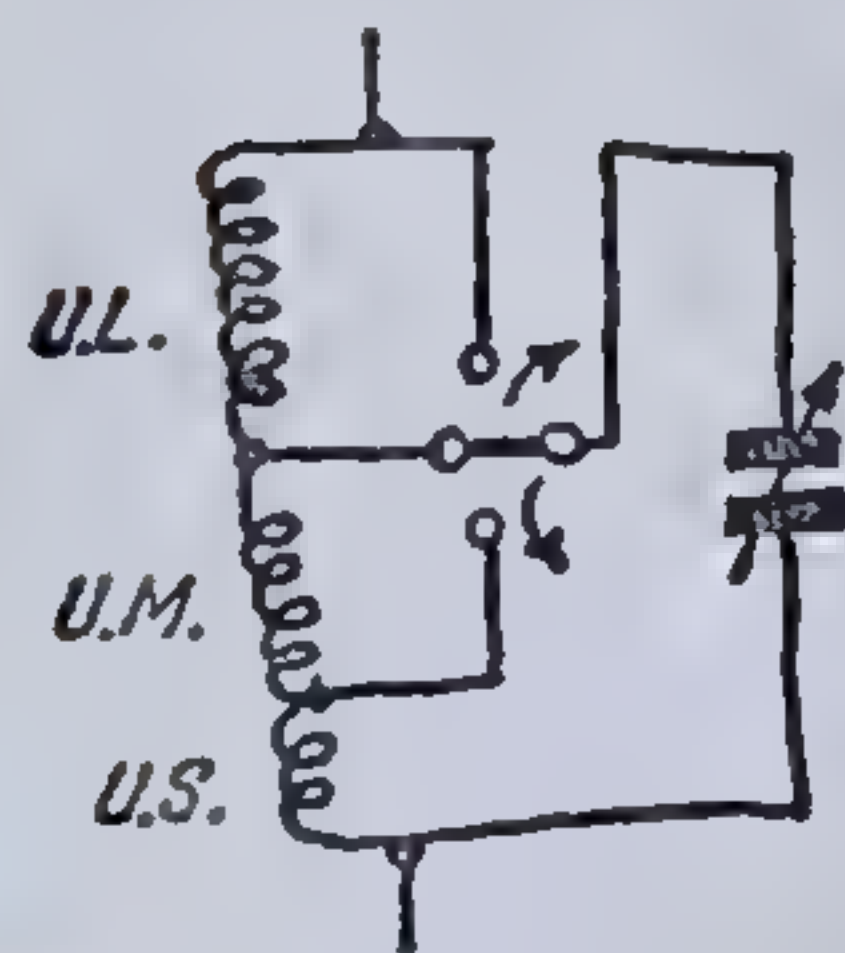
de acord sînt atenuate foarte mult sau chiar eliminate. Situația respectivă duce la o slăbire sau chiar la o dispariție a sunetelor înalte.

DIODA CE REALIZEAZĂ O AMORTIZARE VARIABILĂ

IGNOTUS : Care este remediul acestei situații mai mult decît triste ?

CURIOSUS : Soluția constă în conectarea unei diode de amortizare în paralel pe circuitul acordat. Montajul este conceput astfel încît în momentul în care tensiunea antifeding este slabă, dioda nu lasă să treacă nici un fel de curent și, în consecință, nu determină nici o amortizare.

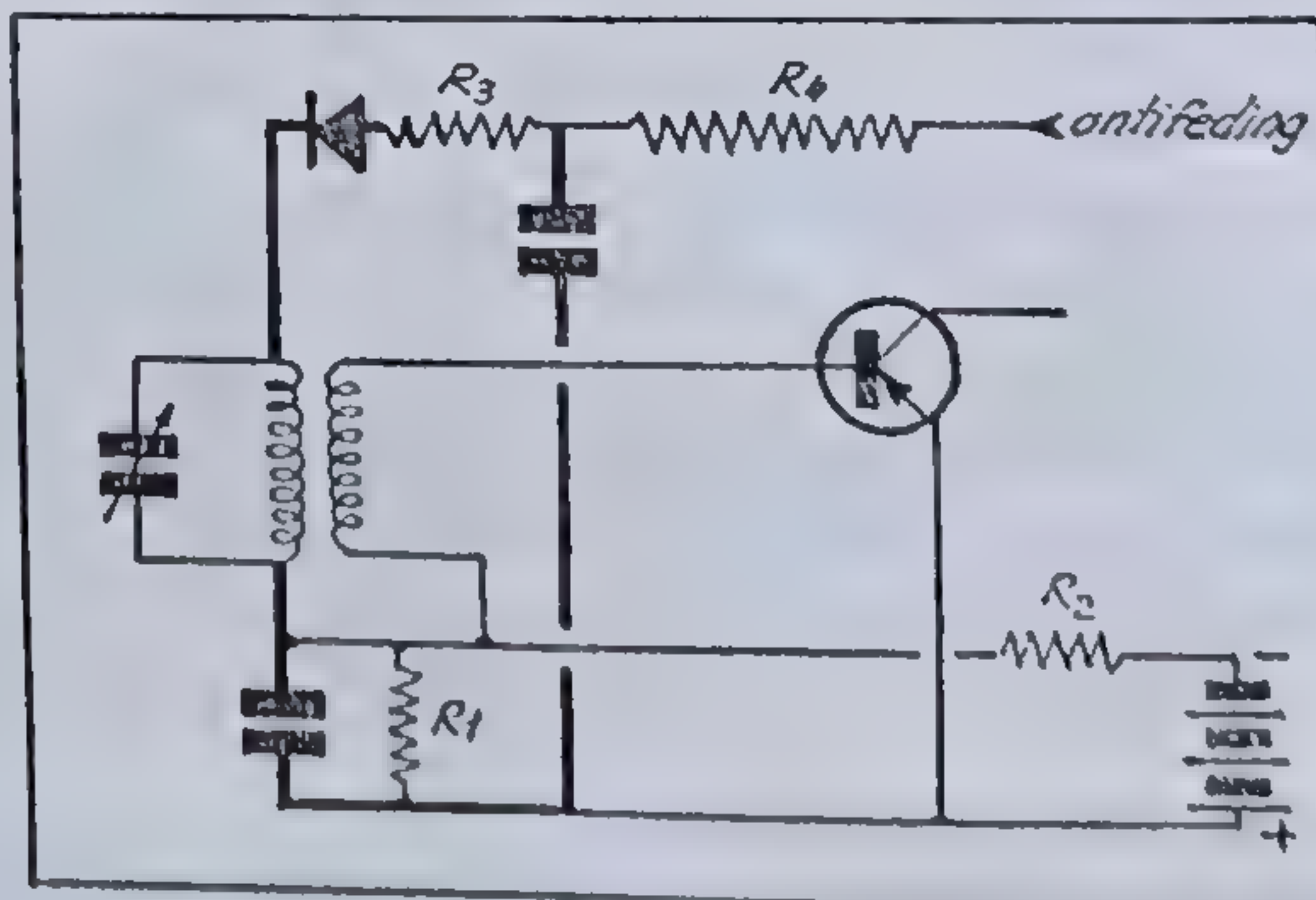
Dimpotrivă, în cazul semnalelor puternice, tensiunea antifeding devine mai pozitivă decît potențialul punctului de conexiune dintre rezistențele R_1 și R_2 (divizor de tensiune). În acest moment dioda conduce și deci lasă să treacă curentul. Cu alte cuvinte rezistența sa încetează de a mai fi infinită și se micșorează proporțional cu creșterea tensiunii de antifeding.



RECEPȚIONAREA MAI MULTOR GAME DE UNDE

CURIOSUS : Crede-mă, te rog, că există nenumărate probleme în toate domeniile radioelectricității.

Astfel utilizarea mai multor game de unde necesită introducerea în circuitele de acord de IF a tot atîtea bobine, inclusiv



Dioda de amortizare se conectează în paralel pe circuitul rezonant.

circuitul oscilant pentru fiecare din etajul schimbător de frecvență. După cum ți-am mai explicat la sfârșitul celei de a cincea convorbiri, pentru a trece de la undele lungi la undele medii și eventual la cele scurte, trebuie utilizat un comutator care să permită trecerea de la o înfășurare la alta.

Există soluția unor bobine distincte, dar în cele mai multe cazuri se utilizează înfășurări legate în serie, cea mai scurtă servind la recepționarea undelor scurte, ca după aceea pe măsura creșterii numărului de spire să se poată trece la undele medii, pentru ca în final toată lungimea înfășurării să servească la captarea undelor lungi.

IGNOTUS : De fapt, și antena trebuie să fie legată la una din aceste trei înfășurări.

CURIOSUS : Da, este exact. Dar în majoritatea receptoarelor actuale, antena nu servește decât la recepționarea undelor scurte. În ceea ce privește undele medii și lungi, acestea sînt captate cu ajutorul înfășurărilor realizate pe miezuri electromagnetice (de obicei pe ferite). Îți amintesc că aceste miezuri, fiind niște excelente conductoare pentru liniile de forță magnetice, concentrează în interiorul lor cîmpurile undelor electromagnetice, în așa fel încît aceste mici colectoare de unde sînt echivalente unor antene de dimensiuni mult mai mari.

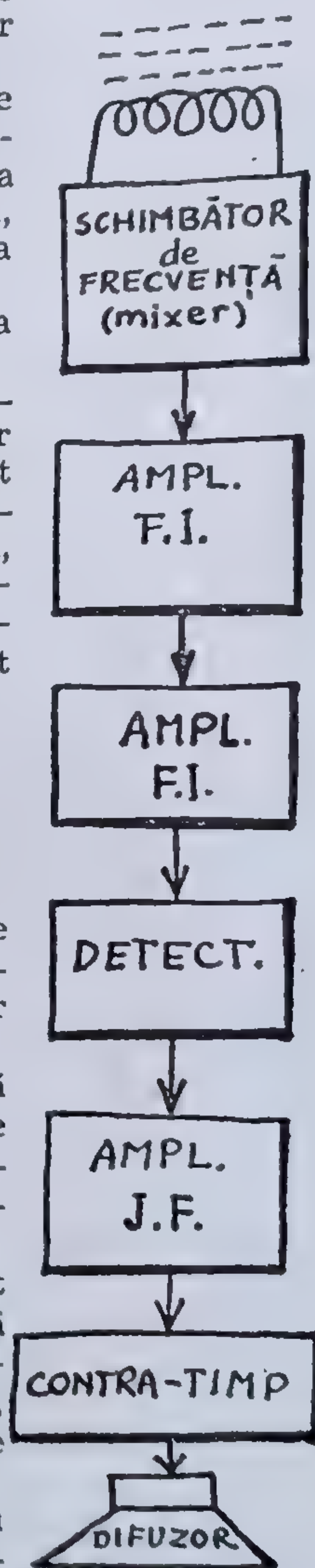
RECEPTOARE DE BUZUNAR

IGNOTUS : De abia acum înțeleg felul în care sînt captate de către un mic receptor de buzunar emisiunile posturilor îndepărtate. Și totuși, care este componența unui astfel de receptor ce posedă un volum atît de mic.

CURIOSUS : Montajul poate fi o superheterodină ce posedă un schimbător de frecvență (mixer), două etaje de amplificare intermediară, un etaj de detecție cu diodă și două etaje amplificatoare de joasă frecvență, cel de ieșire fiind montat în contratimp.

IGNOTUS : Dragă Curiosus, îți bați joc de mine ! Cum pot să cred că într-o cutie atît de mică încap o jumătate de duzină de tranzistoare, una sau două diode, două condensatoare variabile și o cantitate serioasă de bobine, condensatoare, rezistență, asta fără a mai pune la socoteală firele de conexiune și bateriile de alimentare...

CURIOSUS : Ei bine, nu te speria, am să-l cer unchiului meu să-ți explice diversele procedee de miniaturizare și microminia-



turizare. Aceste se pot aplica universal cu o singură excepție.

IGNOTUS : Care anume ?

CURIOSUS : Până acum nu s-a ajuns încă la microminiaturizarea ființelor omenești. Iată de ce nu vom putea microminiaturiza piesele sau componentele ce servesc la reglare, cum ar fi butoanele rotative, clapele de la schimbătoarele de unde și altele.

IGNOTUS : După părerea mea, excepția este mai mult decât fericită.

Profesorul Radiol descrie

Cablajele imprimate și circuitele integrate

În prezent, toată aparatura electronică fabricată în serie utilizează cablaje imprimate, fapt ce economisește munca și cheltuielile de cablare. Din ce în ce mai mult se face apel la procedeele folosite în micro-electronică, procedee ce utilizează circuite integrate. În acest capitol profesorul Radiol explică rolul lor, materialele din care sînt realizate, cît și tehnologia lor de fabricație.

Înainte de cel de al doilea război mondial, fabricarea aparatelor de radio necesita un proces de cablare lung și complicat. Toate conexiunile între diferitele componente erau realizate din fire de cupru, ale căror extremități trebuiau lipite (sudate) pe terminalele componentelor, astfel încît să se realizeze lipituri (suduri) rezistente.

APARIȚIA CABLAJELOR IMPRIMATE

Cînd la rîndul lor Statele Unite ale Americii au intrat în cel de al doilea război mondial, cercetătorii din această țară au pus la punct obuze, care erau destinate doborîrii avioanelor. Aceste proiectile, prevăzute cu dispozitive speciale, își îndeplineau rolul chiar dacă nu atingeau avionul vizat. Dispozitivul electronic pe care îl conțineau, făcea ca fiecare obuz să explodeze în apropierea avionului ce trebuia doborît. Ținînd seama de șocul foarte mare la care era supus obuzul în momentul lan-

sării sale, nici un fel de cablaj, realizat cu fire, nu putea rezista. Astfel, pentru a realiza tipul acesta de dispozitiv, s-au creiat cablajele imprimate. Acestea prezintă avantaje foarte mari față de firele de conexiune, pe care de altfel le-au înlocuit.

Fabricarea lor în serie este mult mai economică față de procesul clasic de cablare. În plus, cablajele imprimate asigură contacte mult mai fiabile (cu siguranță în funcționare). Fiabilitatea este un termen des utilizat în domeniul electronicii, definindu-se ca „demn de încredere, sigur, durabil în timp“...

MODUL DE FABRICARE

Cum se realizează în prezent cablajele imprimate? bineînțeles, nu prin procedeele de imprimare folosite la începutul fabricării lor.

Ca material de bază se utilizează plăci de material izolant care, pe una din fețe, sînt acoperite cu un strat foarte subțire de cupru.

Părțile acestei suprafețe conductoare, care au rolul de conexiuni, se acoperă cu un strat de lac protector. Apoi, plăcile se cufundă într-o baie de soluție acidă, care atacă și dizolvă părțile stratului de cupru, neprotejate cu lac protector.

După aceasta se trece la realizarea găurilor, în locurile prin care vor trece terminalele diverselor componente, cu care se efectuează montajul. Se montează apoi aceste componente pe cealaltă față a plăcii, trecînd terminalele de conexiune ale acestora prin găurile realizate în operația precedentă.

După executarea acestor operații, mai rămîne numai efectuarea operației de lipire a firelor de conexiune (terminalelor) a componentelor, de părțile de cupru care le înconjoară. Aceste lipituri se realizează foarte simplu și simultan, prin trecerea (scufundarea) feței placate cu cupru a plăcii, pe suprafața unei băi de aliaj de cositor topit.

TEHNICA FOTOGRAFIERII ÎN SERVICIUL ELECTRONICII

După cum vedeți, toate acestea sînt mai simple și mult mai puțin costisitoare, decît realizarea unei cantități considerabile de conexiuni realizate cu fire conductoare. Vă veți întreba, bineînțeles, care este modul în care porțiunile de cupru ce tre-

buie să realizeze conexiunile se acoperă cu lac protector, în timp ce restul de cupru dispare prin corodarea (dizolvarea) sa în soluția acidă.

Ei bine, și aci se face apel la un procedeu fotografic. Se începe prin desenarea dispunerii ansamblului de conexiuni ce trebuie să figureze pe un cablaj imprimat. După aceea se fotografiază acest desen, obținându-se un negativ pe o peliculă transparentă.

Această peliculă se suprapune pe stratul de cupru, care în prealabil a fost acoperit cu lac fotosensibil. Sub influența luminii, acest lac devine incorodabil în soluțiile acide, care în mod normal l-ar dizolva foarte ușor.

Astfel prin proiectarea unui fascicol puternic de lumină pe placa negativă, toate porțiunile acoperite cu lac, care se găsesc sub porțiunile opace ale negativului desenului original, nu suferă nici o schimbare, în schimb cele ce se găsesc sub porțiunile transparente devin insolubile în soluțiile acide, ca urmare a acțiunii luminii.

Acum veți ghici desigur, că singura operație ce mai trebuie efectuată este cufundarea plăcii într-o soluție, care va dizolva toate porțiunile acoperite cu lac, care nu au fost supuse acțiunii fasciculului de lumină.

În acest moment dispunem de o placă, pe care toate porțiunile de cupru ce urmează să formeze conexiunile pe cablajul imprimat sînt acoperite și deci protejate de lac. Cufundăm deci placa în soluție acidă și astfel scopul urmărit este atins: pe placă cuprul rămîne intact numai pe porțiunile acoperite cu lac rezistent la acțiunea acidului. Nu mai rămîne așa dar, decît să se elimine lacul protector de porțiunile pe care le-a protejat atît de delicat și de eficace. Operația aceasta va fi realizată cu ajutorul unui alt dizolvant ce permite efectuarea ei foarte ușor.

Iată, dragul meu Ignotus, felul în care se produc cablajele imprimate, cablaje ce economisesc în mare parte cantitatea de muncă necesară în cazul cablării cu fire.

CIRCUITELE INTEGRATE

După apariția semiconductoarelor, toate metodele descrise mai sus au dus la conceperea și realizarea *circuitelor integrate*. Dar mai înainte — sper că vă reamintiți explicațiile mele în legătură cu acest subiect — metodele menționate au permis fabricarea tranzistoarelor planar.

Să vedem mai întâi ce anume este un circuit integrat? Este o plăcuță de material semiconductor, care înglobează circuite compuse din diverse componente active și pasive.

Cred că nu vă surprinde faptul realizării componentelor de genul tranzistoarelor sau diodelor. Dar în același timp un circuit integrat conține de asemenea rezistențe, condensatoare, bobine de valoare mică și diverse conexiuni care conectează între ele toate aceste componente. Bineînțeles că toate acestea ni se par de necrezut și totuși este purul adevăr.

Dar ceea ce este și mai extraordinar în aceste mici ansambluri este densitatea componentelor pe care le conține un circuit integrat. Numai datorită acestui fapt s-a putut realiza progresul extraordinar în ceea ce privește microminiaturizarea. Este bine să știți că în zilele noastre, se realizează circuite integrate ce posedă un volum egal cu capul unui ac de gămlă, dar care conține în schimb o sută de tranzistoare!!! Aceste circuite sînt componentele de bază utilizate în calculatoare.

REALIZAREA COMPONENTELOR PASIVE

Să vedem acum modul în care se fabrică aceste ansamble minuscule. Faptul de a transforma un semiconductor în tranzistor sau diodă nu vă surprinde. Ne punem însă întrebarea modului cu ajutorul căruia se realizează componentele pasive.

Rezistențele se realizează prin introducerea în masa semiconductorului, prin aliere sau difuzie a unei cantități precis dozată de impurități, care pe o lungime, o lățime și o adîncime bine calculată, să dea naștere rezistivității dorite.

De asemenea rezistențele se mai pot realiza prin acoperirea semiconductorului cu un strat foarte subțire de izolanț (cuart) pe deasupra căruia se depune o substanță de natură rezistivă, sub forma unei benzi, care de obicei are o formă ciudată în scopul obținerii lungimii dorite.

Cît despre *condensatoare*, acestea se obțin prin acoperirea semiconductorului cu un strat foarte subțire de izolanț depunînd apoi pe acesta un metal conductor care constituie cea de a doua armătură a condensatorului.

Condensatoarele de valoare mică se pot obține foarte simplu cu diode polarizate în sensul opus conducției (sens invers). În aceste condiții, joncțiunea joacă un rol de dielectric, separînd cele două armături ale condensatorului.

Dificultatea mare de realizare o pun însă *inductanțele*. Se obțin totuși, însă de valori foarte mici. Inductanțele obținute

astfel nu servesc decât în gama hiperfrecvențelor sau frecvențelor ultraînalte. Tehnologia constă în depunerea unei spirale plate de metal pe un strat izolant de cuarț.

FABRICAREA M.S.I. ȘI A L.S.I.

sau fabricarea circuitelor integrate pe scară medie
și a circuitelor integrate pe scară largă

Bineînțeles că nu toate circuitele integrate sînt microminiaturizate la dimensiunile celui pe care l-am amintit mai sus. Dar găsim și circuite M.S.I., inițiale, care în limba engleză se traduc prin *integrare pe scară medie* (Medium Scale Integration). Densitatea componentelor lor este mult inferioară celor denumite L.S.I., inițiale ce se traduc tot din limba engleză prin *integrare pe scară largă* (Large Scale Integration). Acestea din urmă conțin cîteva mii de componente.

O să-mi puneți întrebarea logică de altfel, a tehnologiei de fabricație a acestora sau cu alte cuvinte realizarea operațiilor de depunere pe anumite suprafețe a straturilor izolante sau conductoare etc. Care sînt tehnicile utilizate în cazul integrării pe scară largă sau L.S.I. ?

Și aci tehnica fotografierii joacă un rol fundamental. Fiecare operație din procesul tehnologic are ca bază de plecare un desen ce reprezintă forma suprafețelor care urmează să fie supuse unui tratament sau altuia. Dar dimensiunile acestor desene sînt de sute dacă nu de mii de ori mai mari, decât suprafețele semiconductorului.

Desenele sînt fotografiate, apoi micșorate la dimensiunile necesare pentru obținerea unor negative pe pelicule transparente. La rîndul lor aceste negative sînt mult micșorate în momentul proiectării lor pe suprafața semiconductorului, acoperit în prealabil de un lac sensibil.

Constatați că și aci se face apel la procedee fotografice identice celor utilizate la fabricarea cablajelor imprimate. Lacul fotosensibil protejează prin insolubilitatea sa porțiunile semiconductorului care nu trebuie prelucrate în operația următoare.

Mai există însă un necaz. Lumina obișnuită posedă lungimi de undă mult prea lungi pentru utilizarea lor în fabricarea anumitor circuite microelectronice. Cea mai scurtă lungime de undă a luminii vizibile o posedă violetul — 380 nanometri (10^{-9} m). Ei bine și aceasta este prea mare în realizarea circuitelor L.S.I. În acest caz se recurge la razele ultraviolete care posedă o lungime de undă cu mult inferioară celor violete.

Cea mai complicată operație din tot procesul fabricării circuitelor integrate este însă realizarea conexiunilor cu exteriorul. În acest scop, toate punctele circuitelor interioare care urmează să aibă legătură cu exteriorul sînt lipite prin fire foarte subțiri de aluminiu sau de aur pe contactele capsulei. Operația este foarte delicată, fiind efectuată la microscop.

MOTIVELE PENTRU CARE SE REALIZEAZĂ MICROMINIATURIZAREA

Te vei întreba, dragă Ignotus, care sînt de fapt motivele care au solicitat cercetătorii de a realiza aceste procedee complexe de microminiaturizare. Există într-adevăr necesitatea cîștigării de spațiu printr-o reducere atît de considerabilă a volumului circuitelor integrate?

De fapt, dezvoltarea microelectronicii a fost determinată mai ales de progresele informaticii. Calculatoarele conțin mii de componente. Micșorarea dimensiunilor acestora din urmă nu este determinată numai de micșorarea spațiului ocupat ci și de mărirea vitezei de funcționare.

Anumite operații în calculatoare se realizează într-o nanosecundă (10^{-9} s). Ori, care poate fi spațiul parcurs de curentul electric în acest interval de timp, chiar în cazul în care acesta circulă cu viteza luminii? Ei bine, nu parcurge decît 30 cm. Prin aceasta vreau să vă spun că dacă dorim asigurarea vitezei maxime de funcționare a unui calculator trebuie ca distanțele ce separă între ele diversele componente să fie reduse la minimum.

Dar să nu ne lansăm încă în vastul domeniu al informaticii. Ai și așa, dragă Ignotus, încă multe de învățat în domeniul audiovizual.

Convorbirea a 14-a

Modulația de frecvență

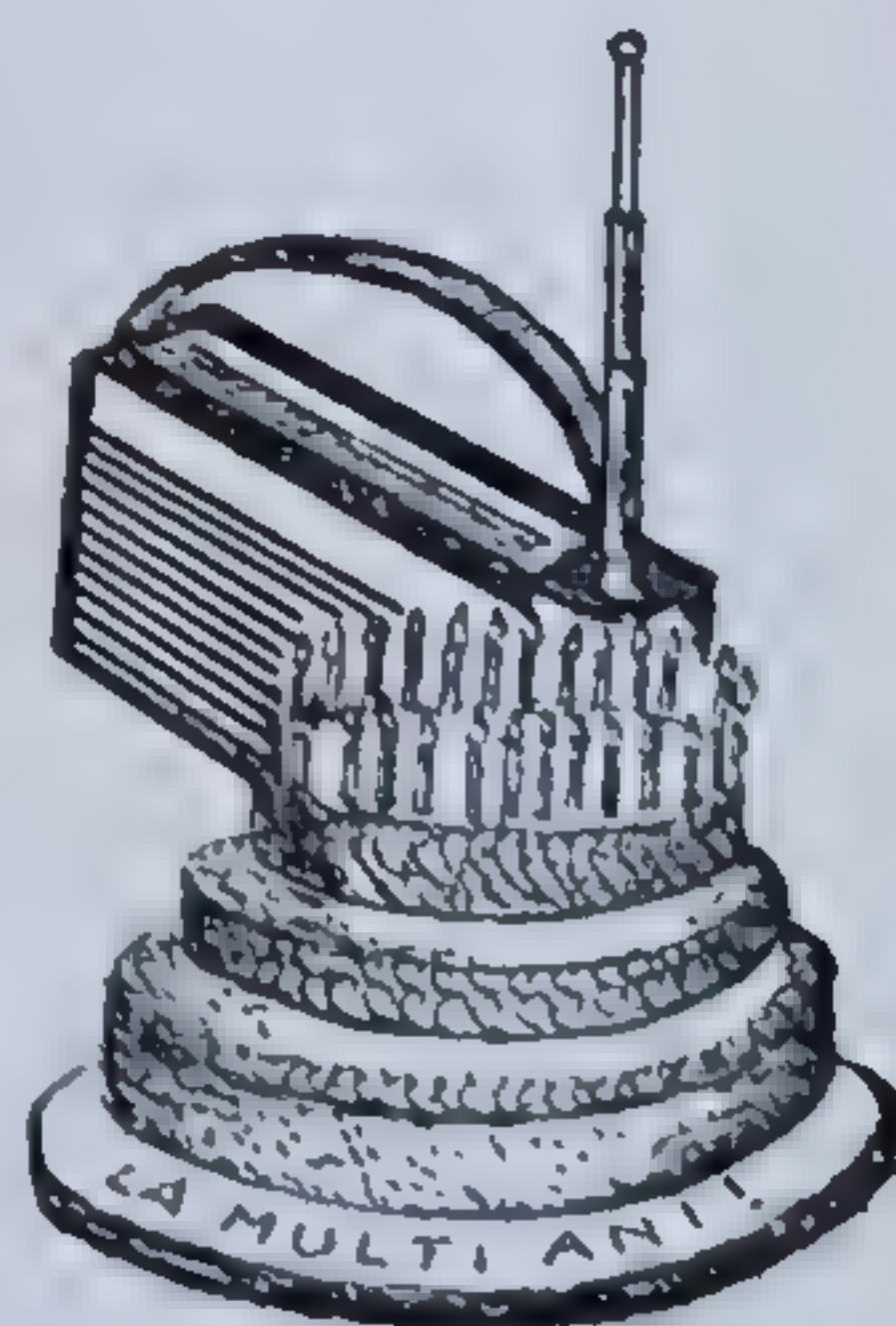
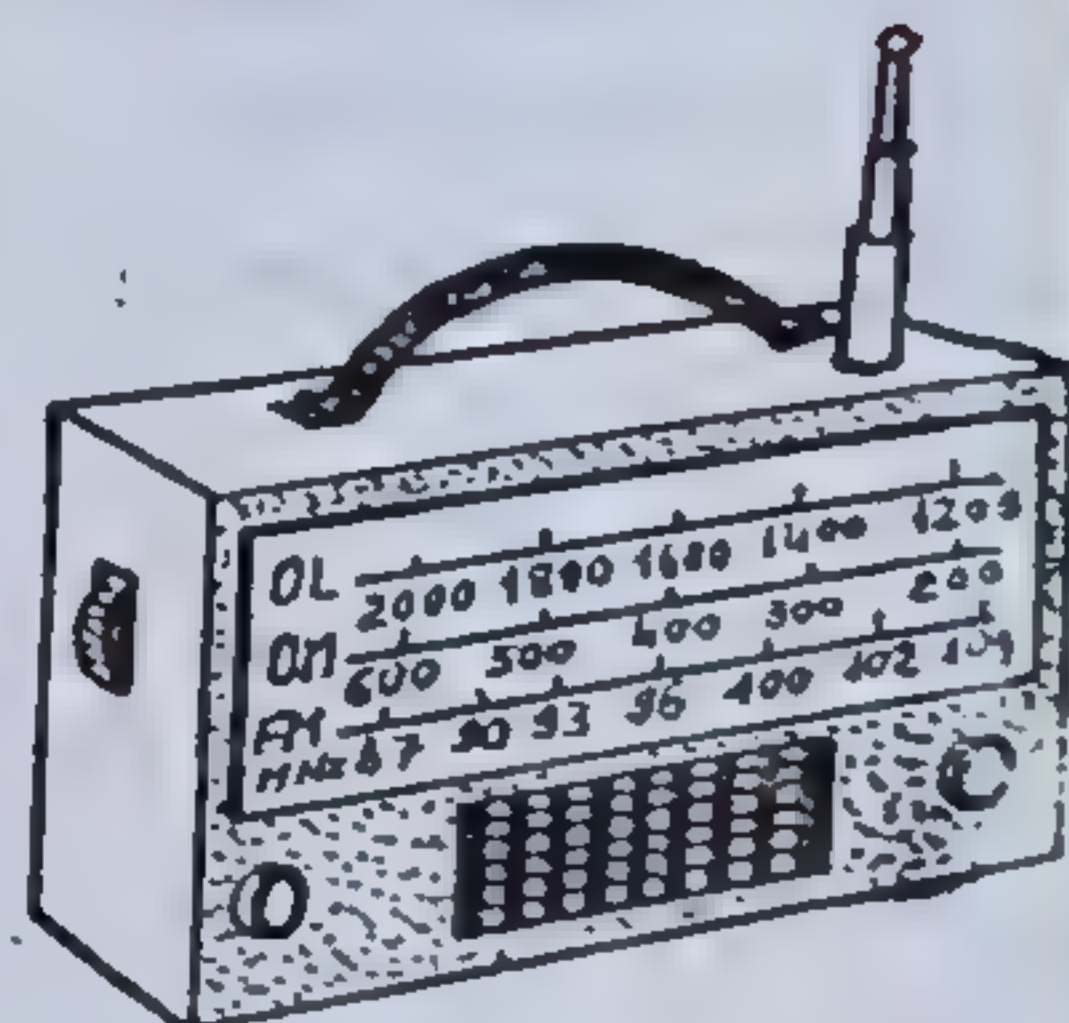
Care este principiul modulației de frecvență? De ce se folosesc undele metrice pentru emiterea semnalelor modulate în frecvență? Care sînt avantajele modulației de frecvență față de modulația clasică de amplitudine? Cum se realizează modularea în frecvență a semnalului, în stațiile de emisie? Toate aceste chestiuni sînt discutate în convorbirea ce urmează.

CÎTE EMITĂTOARE POT LUCRA ÎN FIECARE BANDĂ DE FRECVENȚĂ

IGNOTUS : Părinții mi-au cumpărat, de ziua mea, un cadou care m-a bucurat enorm : un radioreceptor portativ superb, cu trei lungimi de undă. El poate recepționa undele lungi, undele medii și undele metrice. Această a treia bandă este marcată cu MF — litere a căror semnificație nu o cunosc — iar pe scala respectivă figurează frecvențe cuprinse între 64 și 73 MHz. Am calculat că ele corespund lungimilor de undă de la 4,7 la 4 metri. S-ar părea că această bandă e foarte îngustă și totuși reușesc să recepționez în cadrul ei mai multe emisiuni. Și mai curios este că aceste emisiuni au o muzicalitate deosebită.

CURIOSUS : În banda de care vorbești, se utilizează *modulația de frecvență*. Indicația MF reprezintă inițialele ei. Pe unele aparate străine figurează inscripția FM care corespunde expresiei englezești *Frequency Modulation*.

Modulația de frecvență asigură o fidelitate mai bună decît modulația de amplitudine, utilizată în benzile undelor medii și lungi.



Dar, înainte de a-ți explica principiul modulației de frecvență, vreau să-ți atrag atenția că banda utilizată pentru MF nu este, c tuși de puțin îngustă.

IGNOTUS : Bine, dragul meu, dar între 4 și 4,7 metri nu sînt decît 70 de centimetri, în timp ce undele medii se întind pe aproape 400 m, de la 185 la 580 metri ; ca să nu mai vorbim de undele lungi care se întind pe vreo 800 de metri.

CURIOSUS : Ți-aș propune să te dezveți să socotești în lungimi de undă. Să încercăm să folosim frecvențele în calcul.

Îți amintești explicațiile unchiului meu, despre lărgimea de bandă în cazul modulației de amplitudine ? Banda frecvențelor audio transmise în acest mod nu depășește 4 500 Hz. De o parte și de alta a unei purtătoare, iau naștere benzi de modulație cu o lățime de 4500 Hz. Rezultă că fiecare emisiune ocupă, în cazul modulației de amplitudine, o bandă de frecvențe de 9 000 Hz sau 9 kHz.

IGNOTUS : Îmi amintesc. De altfel, acesta este motivul pentru care frecvențele purtătoare ale stațiilor de emisie trebuie să fie distanțate între ele cu cîte 9 kHz.

CURIOSUS : Exact. Și acum, spune-mi te rog, cîte stații încap în banda cuprinsă între 150 și 350 kHz, dacă ții seama de distanțarea de care vorbeai.

IGNOTUS : E foarte ușor de calculat. Dacă împart lărgimea benzii de 200 de kHz la 9 kHz, rezultă că în banda undelor lungi pot lucra 22 de emițătoare cu frecvențe diferite.

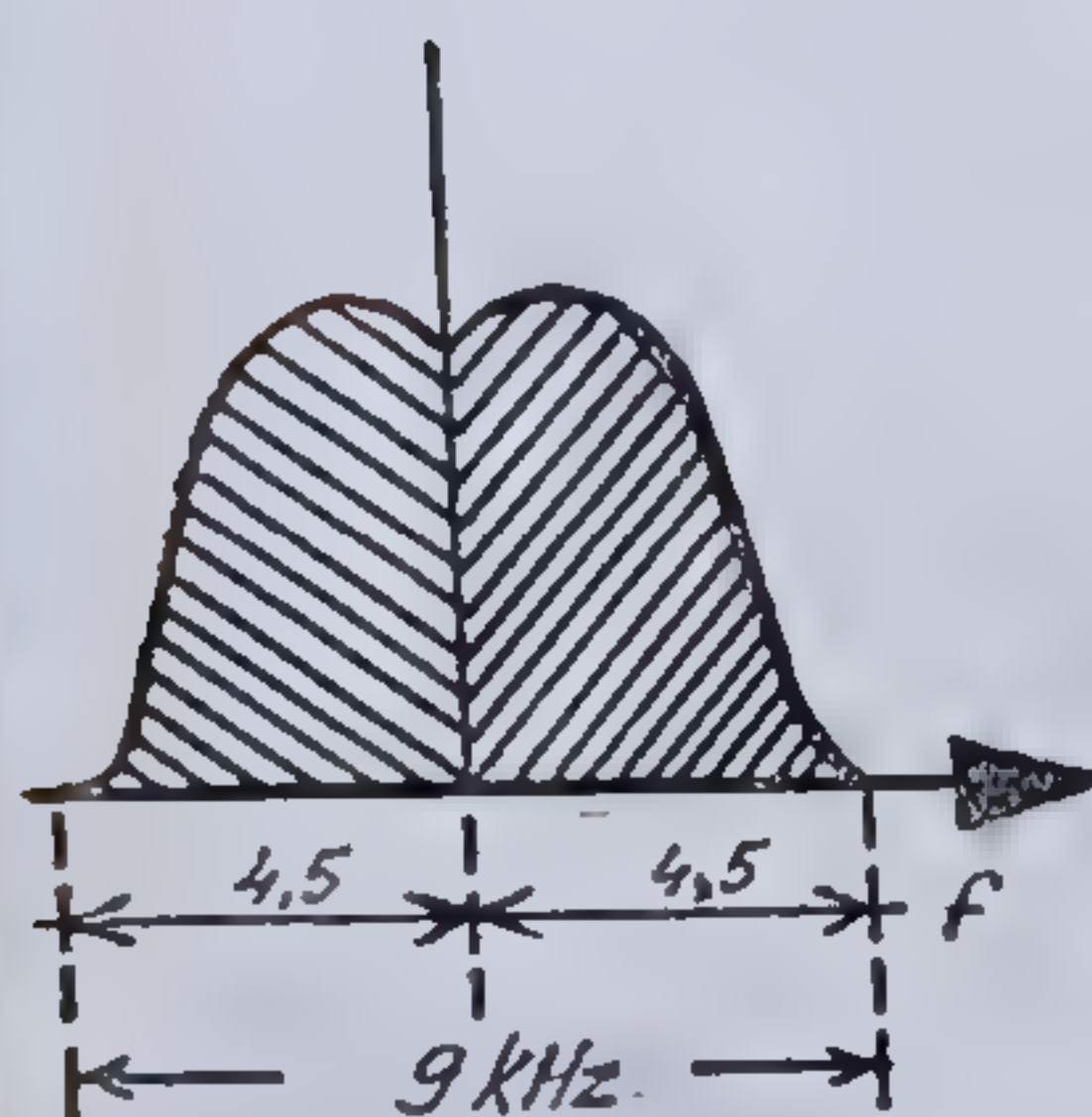
CURIOSUS : Fă acum același calcul pentru undele medii, care sînt cuprinse între 500 și 1 650 kHz.

IGNOTUS : Avem deci o bandă de 1150 kHz. Dacă împart această cifră la 9, obțin cam 128. Deci, în unde medii pot funcționa 128 de stații cu frecvențe purtătoare diferite.

Voi face acum același calcul pentru banda MF cuprinsă între 64 și 73 MHz. Deci 9 MHz sau 9000 kHz. Dacă împart acest număr cu 9 obțin 1000. Formidabil !... N-aș fi crezut niciodată că într-un interval de lungimi de undă de numai 70 de centimetri pot funcționa atîtea emițătoare, distanțate între ele cu cîte 9 kHz.

LĂȚIMEA BENZILOR LATERALE ÎN MODULAȚIA DE FRECVENȚĂ

CURIOSUS : De fapt, dragul meu Ignotus, în acest interval nu vom putea folosi decît 30 de emițătoare cu modulație de frecvență cu frecvențe purtătoare diferite. Pentru acest tip de



modulație, emițătoarele trebuie să fie distanțate între ele cu 300 kHz și nu cu 9 kHz.

IGNOTUS : Pentru ce este necesară o distanță atât de mare ? Oare fiecare din benzile laterale ocupă 150 kHz ? În fond, frecvențele sunetelor care se aud nu depășesc 20 kHz.

CURIOSUS : Este adevărat. Dar în modulația de frecvență, deviația față de purtătoare nu este determinată de frecvența sunetului modulator ci de amplitudinea lui. Atunci când sunetul e foarte puternic, frecvențele se îndepărtează cu 100 de kHz de o parte și de alta a frecvenței purtătoare. În acest fel banda de frecvențe ocupată de fiecare emițător atinge 200 kHz. Iar pentru a evita interferența între două emițătoare, vom prefera să distanțăm frecvențele lor purtătoare cu 300 kHz.

RAZA DE ACȚIUNE A UNDELOR METRICE

IGNOTUS : Deci, acest interval atât de mare nu poate cuprinde mai mult de 30 de stații de emisie ale căror lungimi de undă sînt cuprinse între 4 și 4,7 metri.

CURIOSUS : De fapt, sînt mult mai multe stații de MF în Europa. Putem să construim mai multe emițătoare cu aceeași frecvență purtătoare. Este suficient să le instalăm destul de departe unul de altul.

După cum știi, raza de acțiune a undelor metrice este foarte mică. Ea nu depășește niciodată 100 de kilometri.

IGNOTUS : Îmi amintesc. Aceste unde se comportă asemănător cu undele luminoase. Ele se propagă în linie dreaptă și nu sînt reflectate de ionosferă ca undele medii care au, din această cauză, o rază de acțiune mare.

CURIOSUS : Undele metrice pătrund deci în ionosferă unde sînt absorbite. Pentru a obține o zonă de serviciu suficient de mare, trebuie să instalăm antena de emisie într-un punct cît mai înalt.

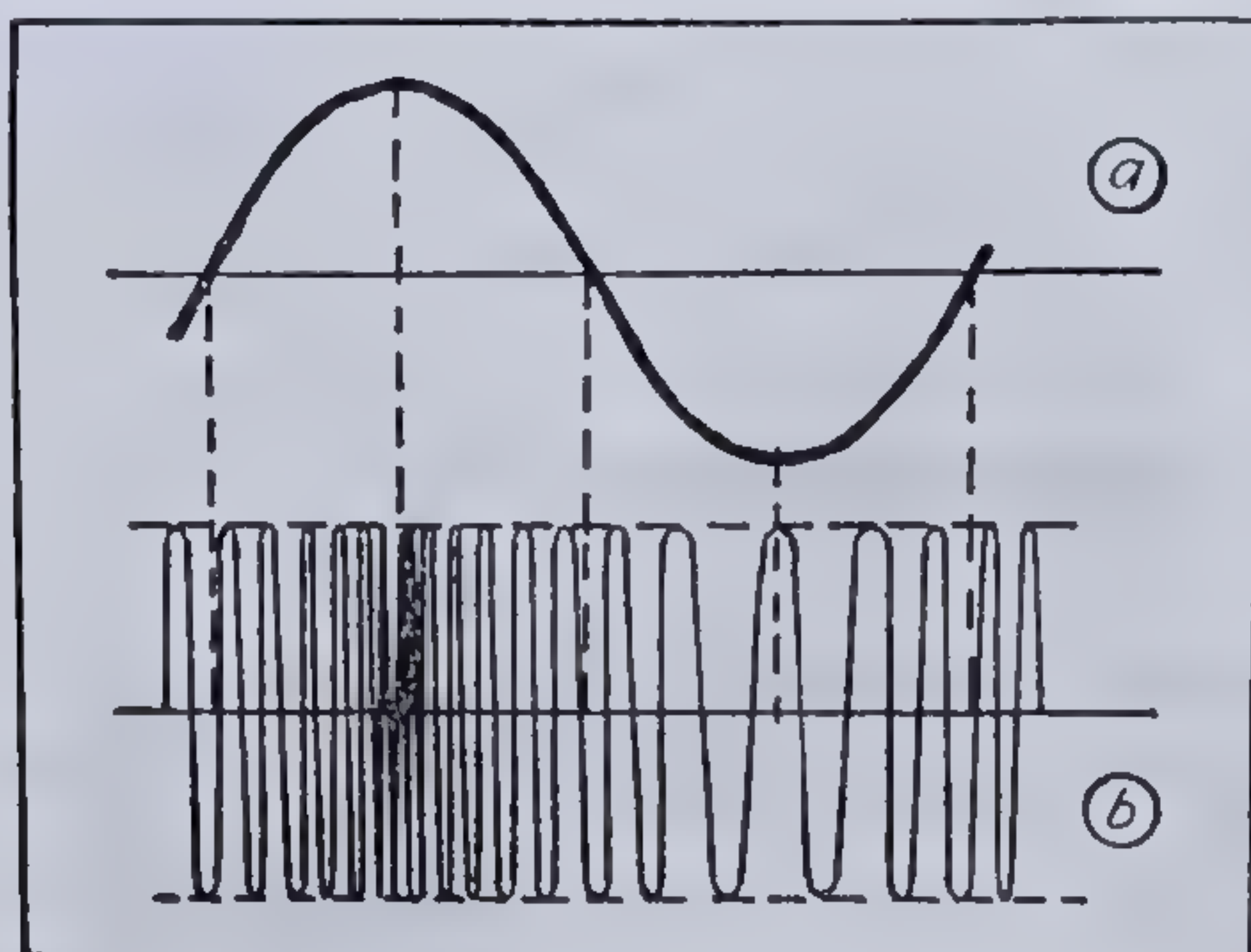
PRINCIPIUL ȘI AVANTAJELE MODULAȚIEI DE FRECVENȚĂ

IGNOTUS : Ai putea să-mi spui care este principiul modulației de frecvență și care sînt avantajele ei față de modulația de amplitudine ?



CURIOSUS : În modulația de frecvență, amplitudinea undei purtătoare nu variază. În schimb se modifică frecvența semnalului emis, în funcție de valorile instantanee ale sunetului care trebuie transmis.

Prin urmare, frecvența de repetiție a acestor variații de frecvență corespunde cu frecvența semnalului modulator de audiofrecvență; mărimea deviațiilor de frecvență este însă stabilită de amplitudinea semnalului de AF.



a — Semnalul modulator de audiofrecvență ;
b — Curentul de IF modulat în frecvență a cărui amplitudine rămâne constantă.

IGNOTUS : Așa se explică deci, această întindere uriașă a benzilor laterale de modulație, despre care spuneai că pot ocupa 100 kHz.

CURIOSUS : Bineînțeles. De altfel, în modulația de frecvență se poate obține un raport foarte mare între *fortissimo* și *pianissimo*, lucru irealizabil în modulația de amplitudine.

IGNOTUS : De ce ? Cine mă împiedică să am, pe de o parte, amplitudini de două ori mai mari decât cea a frecvenței purtătoare și, pe de altă parte, amplitudini aproape egale cu zero.

CURIOSUS : Aceasta ultimă posibilitate este... imposibilă. Nu putem reduce prea mult amplitudinea semnalului pentru că trebuie să ne situăm deasupra nivelului zgomotului de fond.

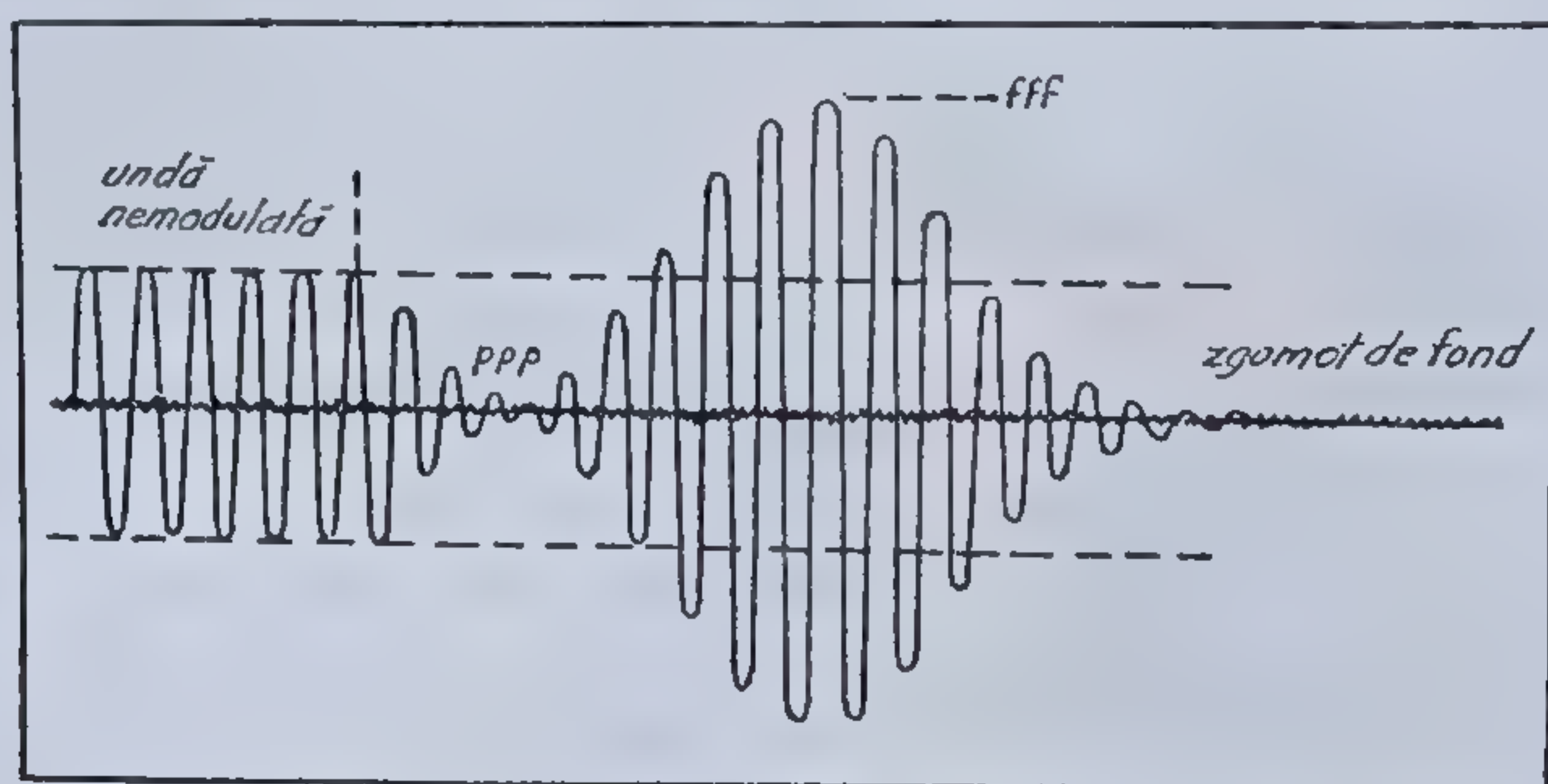
IGNOTUS : Ce înseamnă zgomot de fond ? Este vorba cumva de fișitul pe care îl auzim în receptor, în lipsa unei emisiuni ?

CURIOSUS : Exact. El se datorează unor surse care se află atât în interiorul cât și în exteriorul receptorului : pe de o parte, perturbațiile atmosferice și paraziții industriali, iar pe de altă parte, agitația termică în semiconductoarele și rezistențele din receptor generează acest fișit, al cărui nivel trebuie să fie de-

pășit chiar și de cele mai slabe sunete din muzica transmisă. Din această cauză raportul dintre cele mai puternice și cele mai slabe sunete transmise cu modulație de amplitudine este, într-o oarecare măsură, limitat.

IGNOTUS : Care este cel mai mare raport între fortissimo și pianissimo în cazul unei orchestre pe care o asculți direct ?

CURIOSUS : Chiar și zece mii. Un raport atât de mare nu poate fi reprodus la recepție nici măcar cu ajutorul modulației de frecvență. Se transmite însă un raport pe deplin acceptabil.

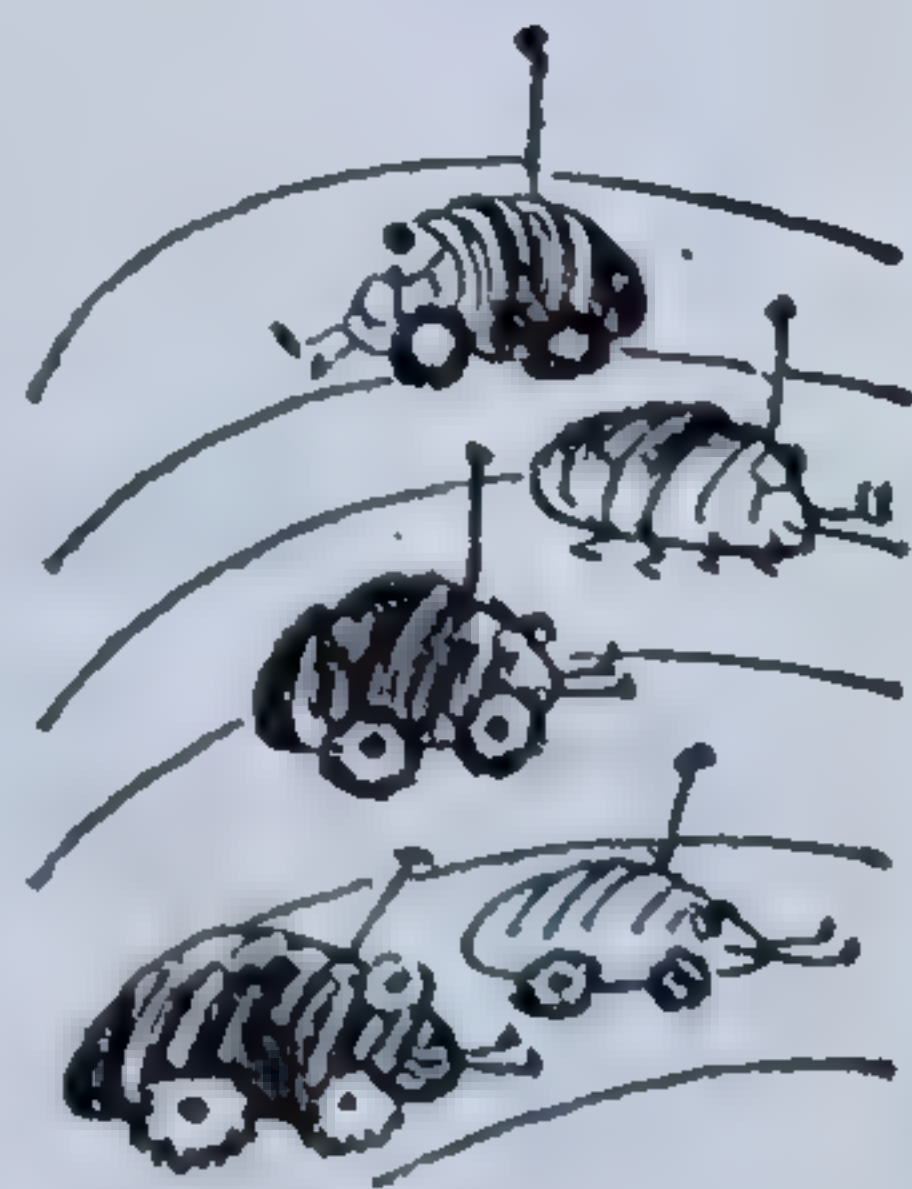


Când o purtătoare de IF este modulată în amplitudine, limitele acestei modulații sînt reprezentate prin dublul amplitudinii undei nemodulate — în cazul valorii maxime — și prin zgomotul de fond — în cazul valorii minime.

Te rog să reții, deci, că unda modulată în frecvență are o amplitudine constantă. Variațiile de frecvență ale purtătoarei reproduc frecvențele din semnalul modulator. Dacă acesta are, de exemplu, o frecvență de 1 000 Hz, frecvența undei emise variază de 1 000 de ori pe secundă. Iar întinderea acestei variații de frecvență depinde de amplitudinea semnalului modulator.

IGNOTUS : Dacă am înțeles bine, frecvența semnalului sonor transmis nu mai e limitată la 4 500 Hz ca în cazul modulației de amplitudine ?

CURIOSUS : Sigur că nu. De altfel, acestei posibilități de a transmite o bandă mai largă de frecvențe și faptulul că raportul amplitudinilor nu mai este limitat, îi datorează modulația de frecvență superioritatea sa față de modulația de amplitudine. În plus amplitudinea constantă a undei purtătoare îi asigură emițătorului un randament foarte bun.

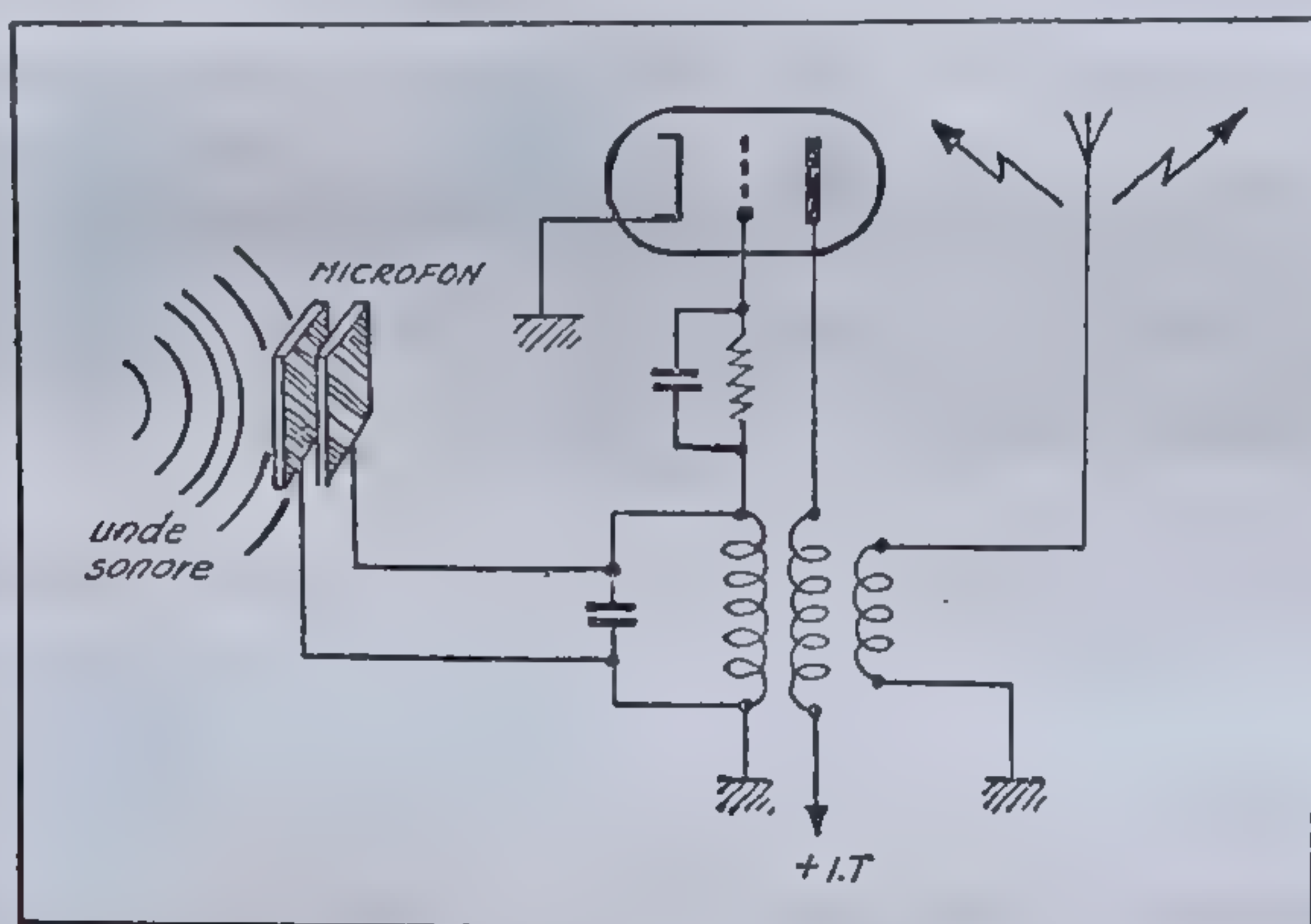


CUM SE OBTINE MODULAȚIA DE FRECVENȚĂ ?

IGNOTUS : Cum se realizează în emițător procesul de modulare în frecvență a unei purtătoare ? Presupun că acest rezultat se obține prin modificarea acordului circuitului oscilant al generatorului de înaltă frecvență.

CURIOSUS : Ipoteza ta este justă și logică. Cred că știi de cine depinde frecvența de acord a acestui circuit.

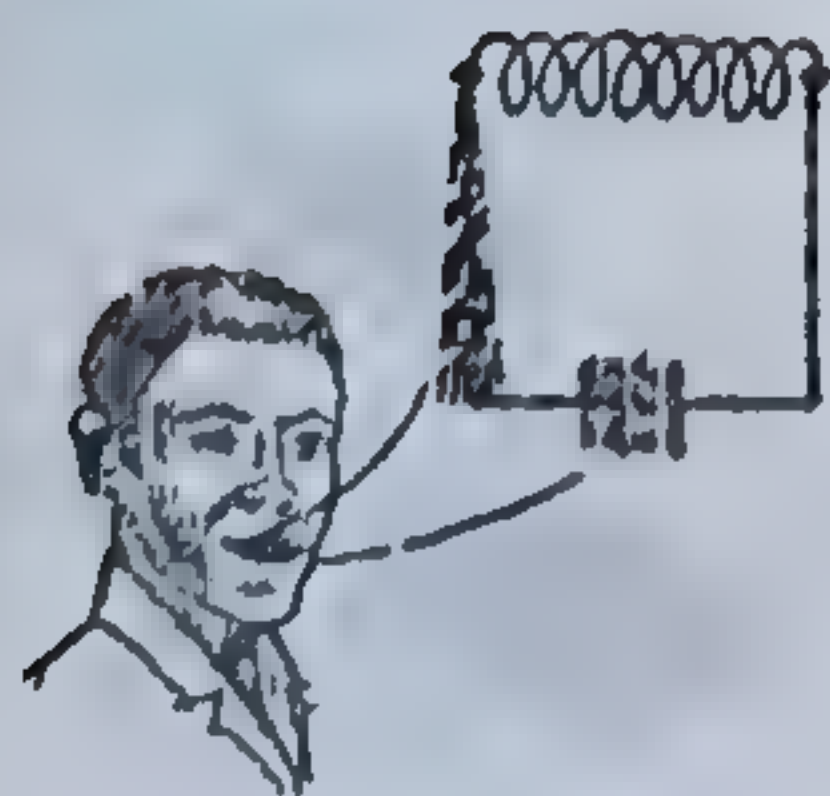
IGNOTUS : Desigur : de reactanțele bobinei și condensatorului. Cum reușim să le facem să varieze în funcție de curentul de audiofrecvență ?



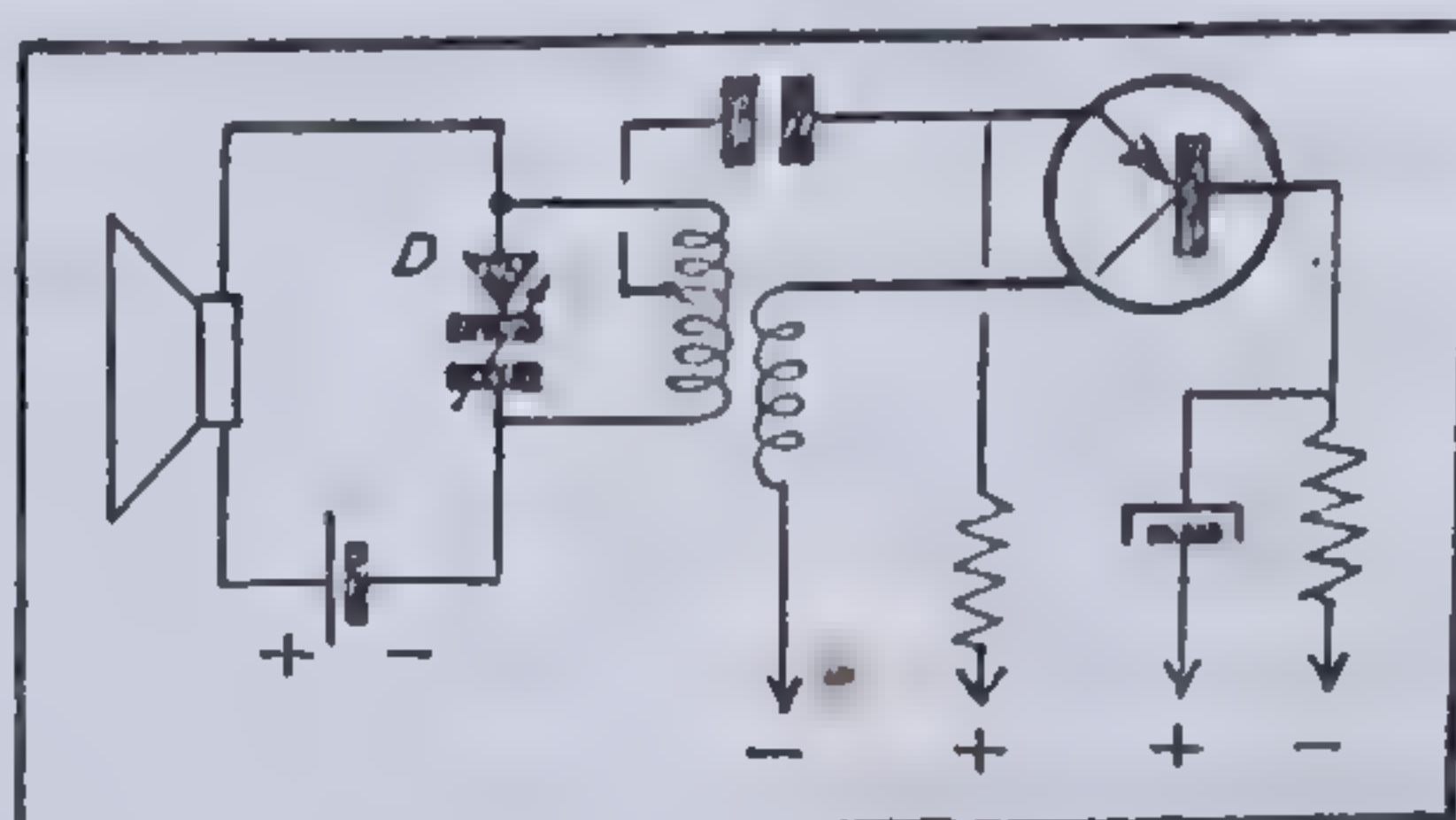
Putem obține modulația de frecvență, folosind un microfon care îndeplinește rolul de condensator și a cărui capacitate variază sub acțiunea undelor sonore și modifică astfel frecvența emițătorului.

CURIOSUS : Elementul care poate fi modificat este capacitatea. Putem realiza, în acest scop, un microfon sub forma unui condensator cu o armătură rigidă și cu a doua armătură destul de elastică pentru ca să vibreze sub acțiunea undelor sonore. Numai că un astfel de microfon nu va asigura o fidelitate prea înaltă.

De aceea se folosesc circuite în care capacitatea dintre doi electrozi al unui tub electronic variază sub acțiunea tensiunilor de AF aplicate pe grila lui de comandă. Nu-ți mai desenez schema circuitului.



Dioda D , montată într-un circuit oscilant, realizează, sub acțiunea semnalului produs de microfon, o modulație de frecvență.



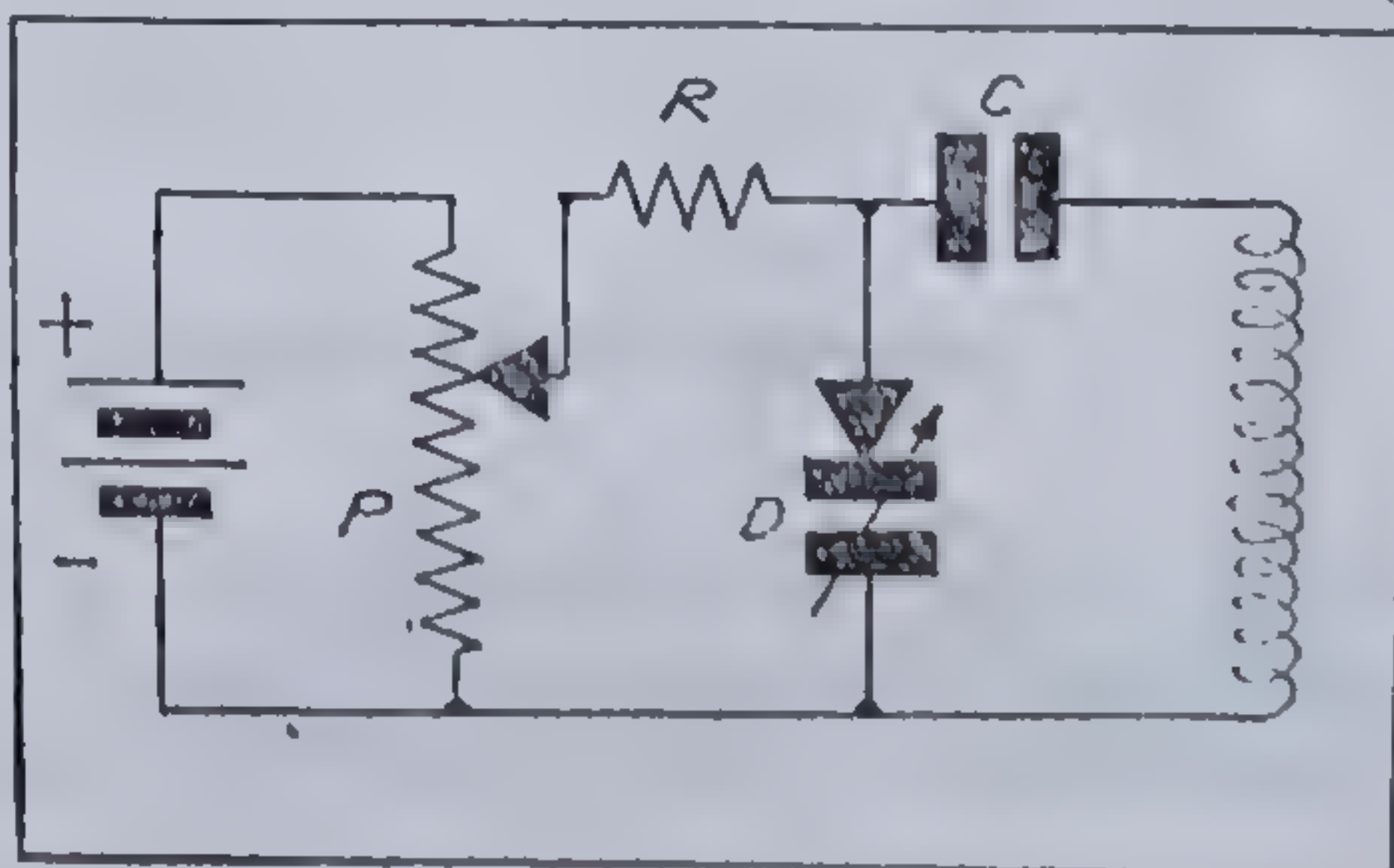
IGNOTUS : Spune-mi, nu se pot folosi și semiconductoare în acest scop ?

CURIOSUS : Ba da. De altfel există diode semiconductoare care sînt niște adevărate condensatoare variabile. Dacă i se aplică unei asemenea diode o tensiune de sens opus celei pentru care trece curentul prin ea, joncțiunea joacă rolul dielectricului care separă cele două armături ale condensatorului. Grosimea stratului care constituie joncțiunea se modifică în funcție de tensiunea aplicată. Cu cît este mai mare tensiunea, joncțiunea devine mai subțire și deci capacitatea scade.

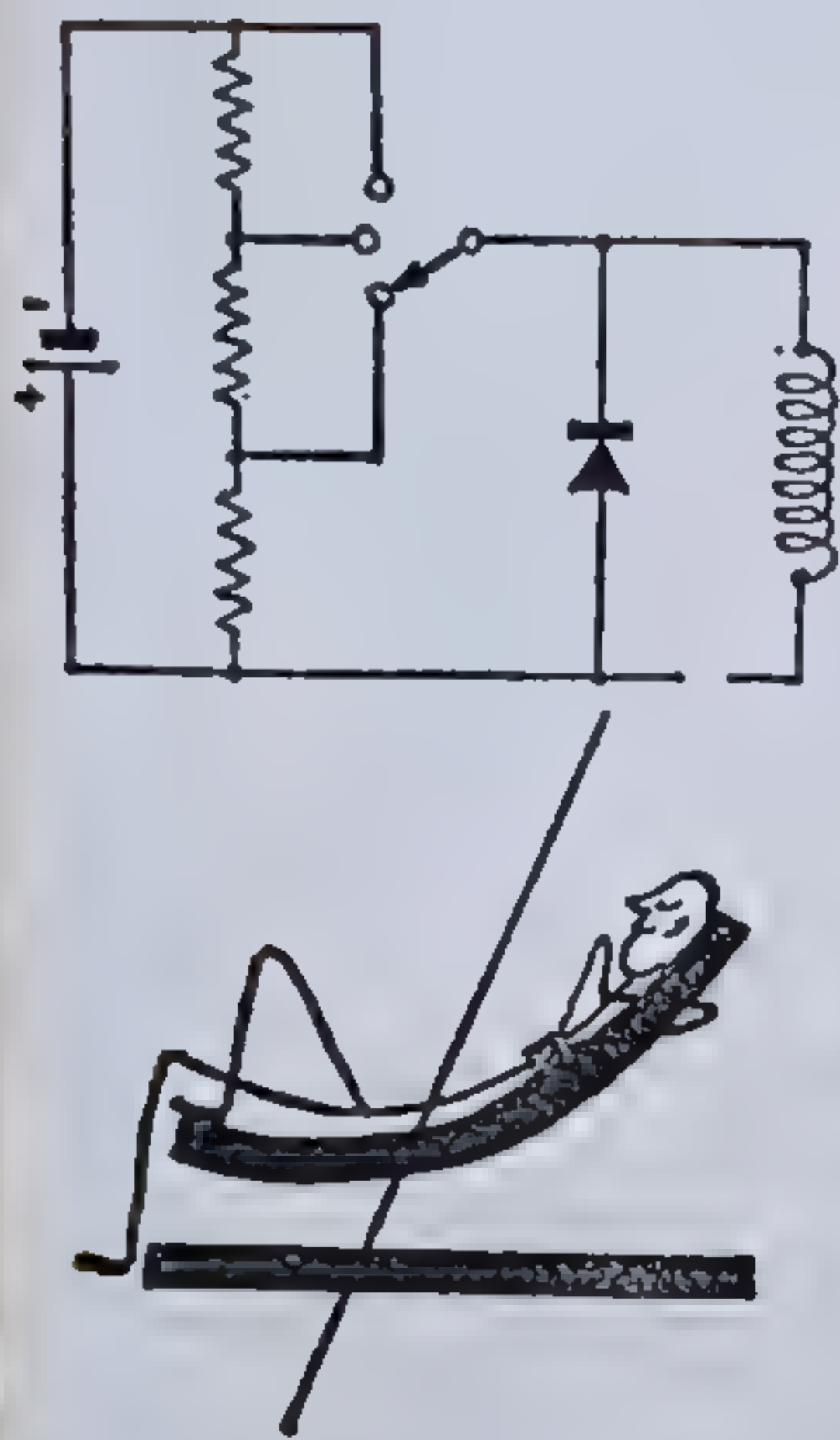
IGNOTUS : Deci, dacă aplicăm pe o astfel de diodă tensiunea de audiofrecvență generată de curentul de microfon și, dacă dioda face parte din circuitul oscilant al oscilatorului de înaltă frecvență din emițător, obținem un semnal modulat în frecvență, nu-i așa ?

CURIOSUS : Văd că ai înțeles foarte bine principiul modulației de frecvență, lucru pentru care te felicit.

IGNOTUS : Mă întreb însă, dacă această diodă cu capacitate variabilă nu are și alte posibilități decît cea de a realiza modulația de frecvență. N-am putea s-o folosim pentru acordul circuitelor în locul clasicului condensator variabil cu plăci care se rotesc ? Ar fi de ajuns să reglăm printr-un potențiometrul tensiunea care se aplică pe dioda respectivă, conectată în circuitul de acord al receptorului. Am zis cumva o prostie ?



Dioda D îndeplinește, sub acțiunea unei tensiuni de sens opus conductibilității sale, rolul unui condensator a cărui capacitate variază în funcție de tensiune, modificînd astfel acordul circuitului



CURIOSUS : Nicidecum. Aceste diode cu capacitate variabilă se folosesc într-adevăr pentru acord în cazul frecvențelor înalte care corespund undelor foarte scurte, mai ales în receptoarele de dimensiuni foarte mici.

Ele își găsesc însă principala utilizare în aparatele cu acord automat. Este vorba de receptoarele pentru care este suficient să ne apropiem cu acordul de frecvența de emisie care ne interesează, pentru ca reglajul exact să se facă singur, automat.

IGNOTUS : Acest sistem încurajează lenevia oamenilor care se mulțumesc cu reglaje aproximative. Acum însă, aș vrea să aflu modul de funcționare al receptoarelor cu modulație de frecvență.

CURIOSUS : Ți-am explicat cum se realizează emisia cu modulație de frecvență. Este prea târziu, pentru ca să-ți mai explic astă-seară cel de al doilea aspect al acestei tehnici speciale. Așa că-i voi lăsa această sarcină iubitului meu unchi.

Profesorul Radiol explică :

Recepția semnalelor modulate în frecvență

Recepția emisiunilor radiofonice este mult mai complicată în cazul modulației de frecvență, decât în cazul modulației de amplitudine, atât din cauza frecvenței foarte înalte a undelor purtătoare și a benzii de trecere foarte largi, cât și din cauza dificultăților care apar la transformarea variațiilor de frecvență în variații de amplitudine. Toate aceste probleme, împreună cu diversele lor soluții, sînt expuse în cele ce urmează.

Spune-mi, Ignotus, ai înțeles bine de ce lucrează în unde metrice stațiile care emit cu modulație de frecvență ?

După toate calculele pe care le-ai făcut împreună cu iubitul meu nepot în cursul ultimei voastre convorbiri, cred că nu mai ai nelămuriri în această privință. În general, frecvența purtătoare trebuie să fie întotdeauna de un număr de ori mai mare decât banda ocupată de frecvențele modulatorie.

Cînd vei studia televiziunea, vei vedea că banda de frecvențe care asigură trecerea semnalelor de televiziune este de aproximativ 6 MHz și nu vei fi probabil surprins să afli că, pentru unele emisiuni de televiziune, se folosesc undele decimetrice, adică frecvențe purtătoare de sute de megahertzi.

AMPLIFICAREA FRECVENȚEI INTERMEDIARE

Recepția unor semnale a căror frecvență este atât de înaltă ridică destule probleme, agravate și de banda mare de trecere, care silește fiecare etaj amplificator să funcționeze cu amplificare mică.

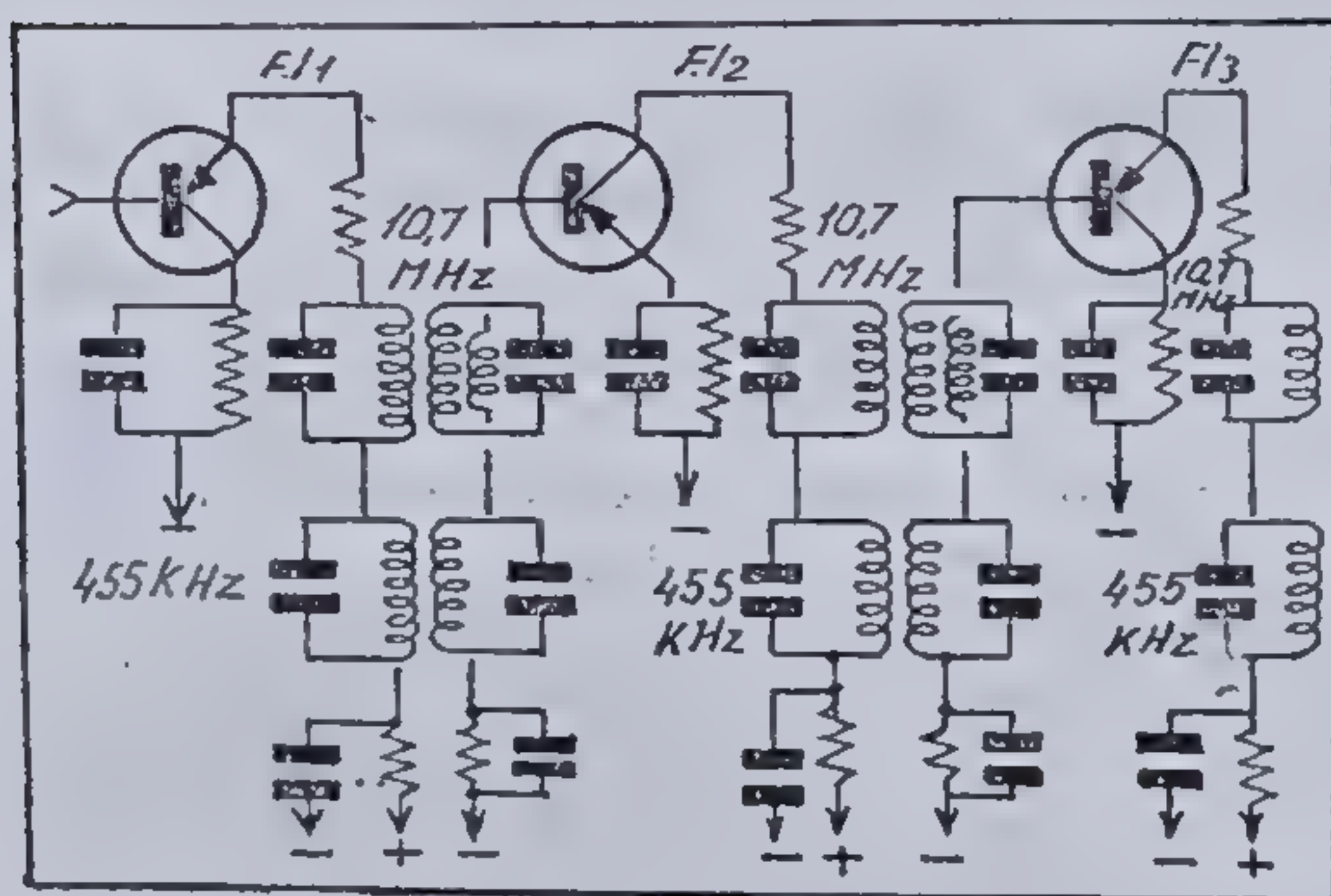
Este de la sine înțeles că, pentru recepția semnalelor modulate în frecvență, se folosesc receptoare superheterodină.

Dar, după cum bănuiești, etajele amplificatoare de frecvență intermediară nu pot fi acordate pe frecvența de 455 kHz, folosită în receptoarele cu modulație de amplitudine.

Pentru ca să poată trece cei 300 de kHz necesari pentru benzile laterale ale modulației de frecvență, etajele de frecvență intermediară sînt acordate pe 10,7 MHz. Din cauza amplificării lor relativ mici, se folosesc trei etaje amplificatoare.

Să nu-ți imaginezi că în aparatele care recepționează atât emisiunile cu modulație de frecvență cît și cele cu modulație de amplitudine există două amplificatoare distincte de FI. Se folosesc aceleași tuburi sau aceleași tranzistoare pentru a amplifica atât frecvența intermediară de 455 kHz cît și frecvența intermediară de 10,7 MHz.

Cum este posibil acest lucru? Foarte simplu: se leagă în serie circuitele acordate pe 10,7 MHz cu cele acordate pe 455 kHz. Trebuie să avem, însă grijă ca circuitele de 10,7 MHz să fie instalate mai aproape de tuburile sau tranzistoarele amplificatoare.



Același amplificator de frecvență intermediară este utilizat atât pentru recepția semnalelor modulate în amplitudine (cu FI acordată pe 455 kHz) cît și pentru cele modulate în frecvență (cu FI = 10,7 MHz)

Atunci cînd purtătoarea are frecvența de 455 kHz, curentul trece fără să întîmpine vreo piedică prin circuitele acordate pe 10,7 MHz; în schimb circuitele acordate pe 455 kHz reprezintă pentru el o impedanță mare.

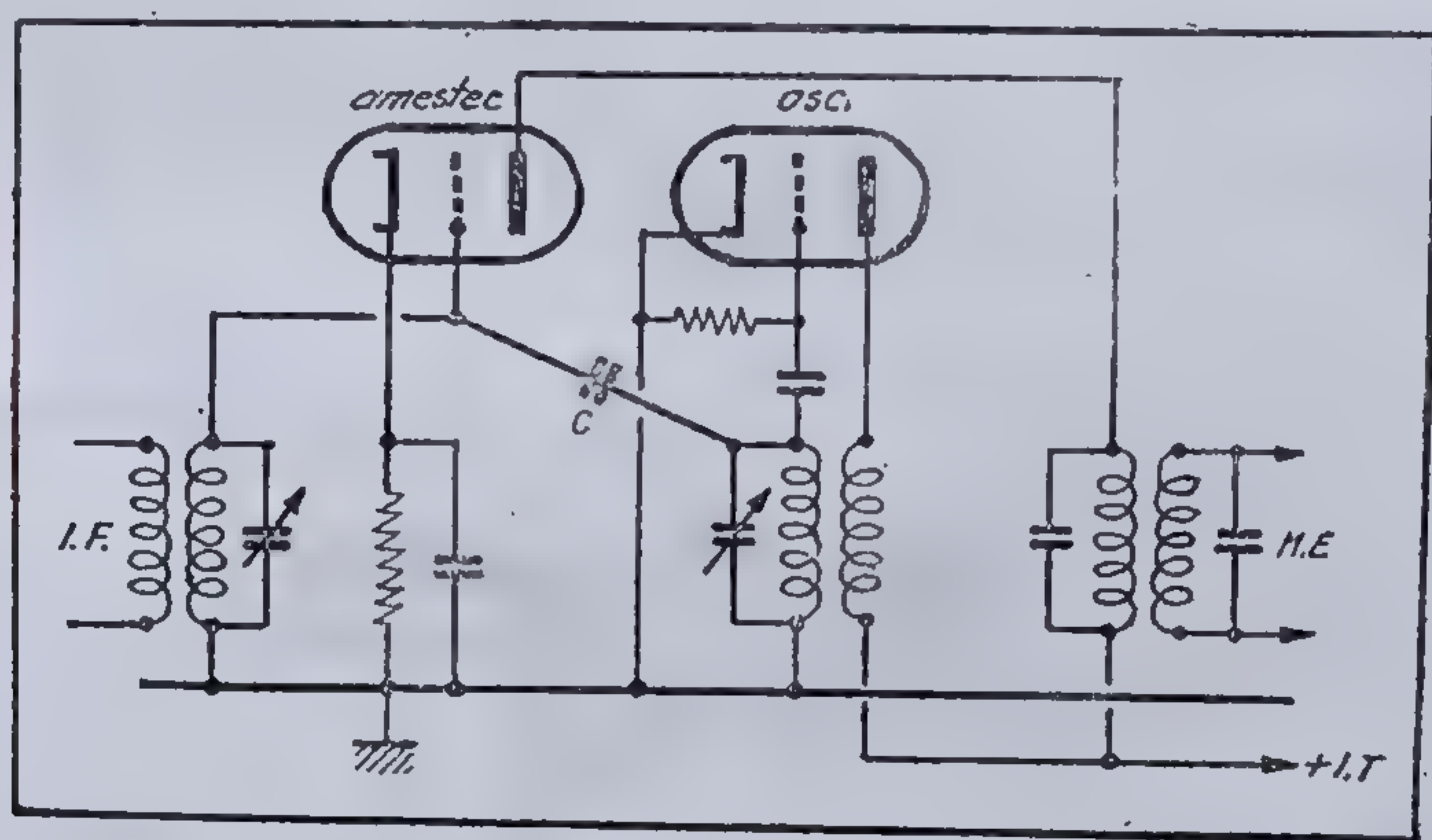
În schema amplificatorului FI cu trei tranzistoare se vede cum se face legătura între etaje, pentru cele două frecvențe. Examinează-o cu atenție; schema nu e de loc complicată.

AMPLIFICAREA IF ȘI SCHIMBAREA DE FRECVENȚĂ

Înainte de a vorbi despre frecvența intermediară, ar fi trebuit să-ți explic amplificatorul de IF și schimbătorul de frecvență. Și, ca să începem de la început, trebuie să știi că și unele metrice sînt captate cu ajutorul unei antene. Receptoarele portative au o antenă „telescopică” pe care o extragem din locașul ei pentru a asculta emisiunile cu modulație de frecvență.

Schimbătorul de frecvență este, în general, precedat de un etaj amplificator de IF. În aparatele cu tuburi un astfel de etaj este realizat cu o triodă pentru că, la frecvențe atît de înalte, trioda are o amplificare mai bună decît pentoda.

Pentru schimbarea de frecvență se preferă de obicei soluția cu oscilator local separat de tubul de amestec. Putem folosi în acest scop o duotriodă, legătura dintre oscilator și etajul de



Schimbător de frecvență cu oscilator separat; oscilațiile sînt aplicate pe grila triodei amestecătoare.

amestec realizîndu-se prin capacitatea dintre electrozi, capacitate pe care semnalele de frecvență foarte înaltă o traversează cu ușurință.

DEMODULAREA

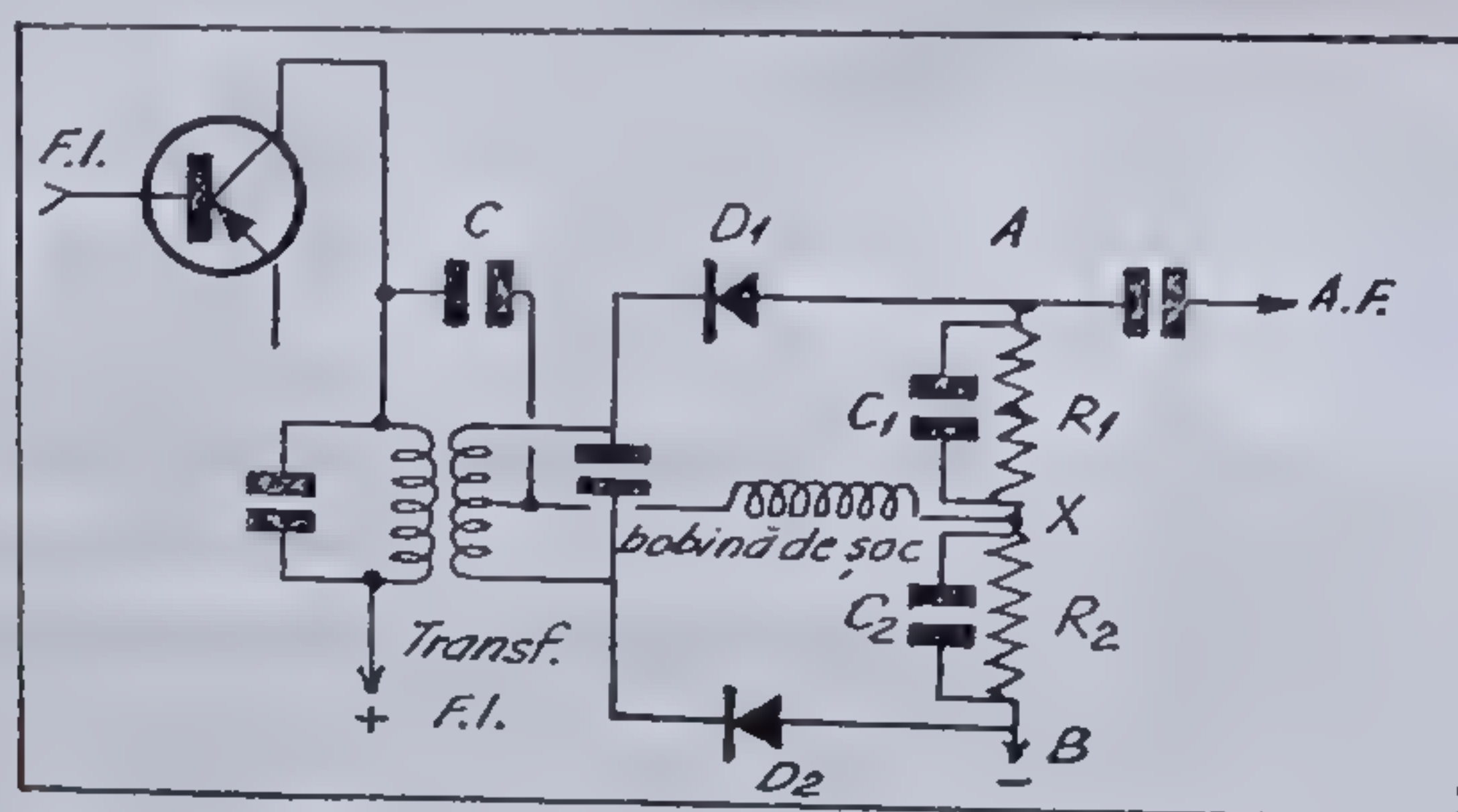
Partea cea mai specială și mai complicată a unui receptor pentru modulația de frecvență este cea care realizează *demodularea*. Care este rolul acestei părți? Funcția ei este exact inversul funcției modulatorului folosit în emițător.

Demodulatorul primește tensiunea de frecvență intermediară amplificată. Amplitudinea ei este constantă, în măsura în care nu este afectată de paraziți sau de feding, dar frecvența ei variază în limite largi. Aceste variații de frecvență trebuie să fie transformate în variații proporționale de amplitudine. În acest fel se obține semnalul de AF.

Există diverse circuite de demodulare. Ți le voi descrie doar pe cele mai utilizate, adică discriminatorul și detectorul de raport. Fiecare din aceste circuite electronice conține două diode, care pot fi la fel de bine tuburi electronice sau semiconductoare. În schemele pe care le voi face, voi folosi diode semiconductoare.

DEMODULAREA CU DISCRIMINATOR

Discriminatorul este legat la ultimul etaj amplificator de FI printr-un transformator cu primarul și secundarul acordate pe FI. În plus tensiunea amplificată care apare în primarul transformatorului este aplicată, prin condensatorul C, în punctul median al bobinajului secundar.



Discriminator folosit pentru demodularea semnalului la ieșirea din amplificatorul de FI.

Fiecare din diodele D_1 și D_2 redresează tensiunile care apar pe câte o jumătate a bobinajului secundar. Odată redresate, ele produc căderi de tensiune de sens opus pe rezistențele R_1 și R_2 .

În lipsa modulației, curentul de FI conține numai frecvența de 10,7 MHz pe care sînt acordate cele două bobinaje ale ultimului transformator de cuplaj. În aceste condiții, tensiunile de pe fiecare din cele două jumătăți ale secundarului sînt egale. Deci, după redresare, pe R_1 și R_2 apar tensiuni continue egale

și de polarități diferite. Ele se anulează reciproc, astfel că diferența de potențial dintre punctele A și B este nulă.

Dacă însă, frecvența se îndepărtează de 10,7 MHz, echilibrul se rupe. Reactanța condensatorului care acordează secundarul transformatorului de cuplaj nu mai este egală cu reactanța inductivă a bobinajului. Între extremitățile acestuia și punctul său median apar tensiuni diferite.

Ca urmare, valorile tensiunilor redresate de D_1 și D_2 nu mai sînt egale. Între punctele A și B apare o diferență de potențial, egală cu diferența acestor două tensiuni care au polarități opuse.

Tensiunea dintre punctele A și B este cu atît mai mare cît crește diferența dintre frecvența instantanee la ieșirea amplificatorului de FI și frecvența de 10,7 MHz pe care sînt acordate transformatoarele de cuplaj.

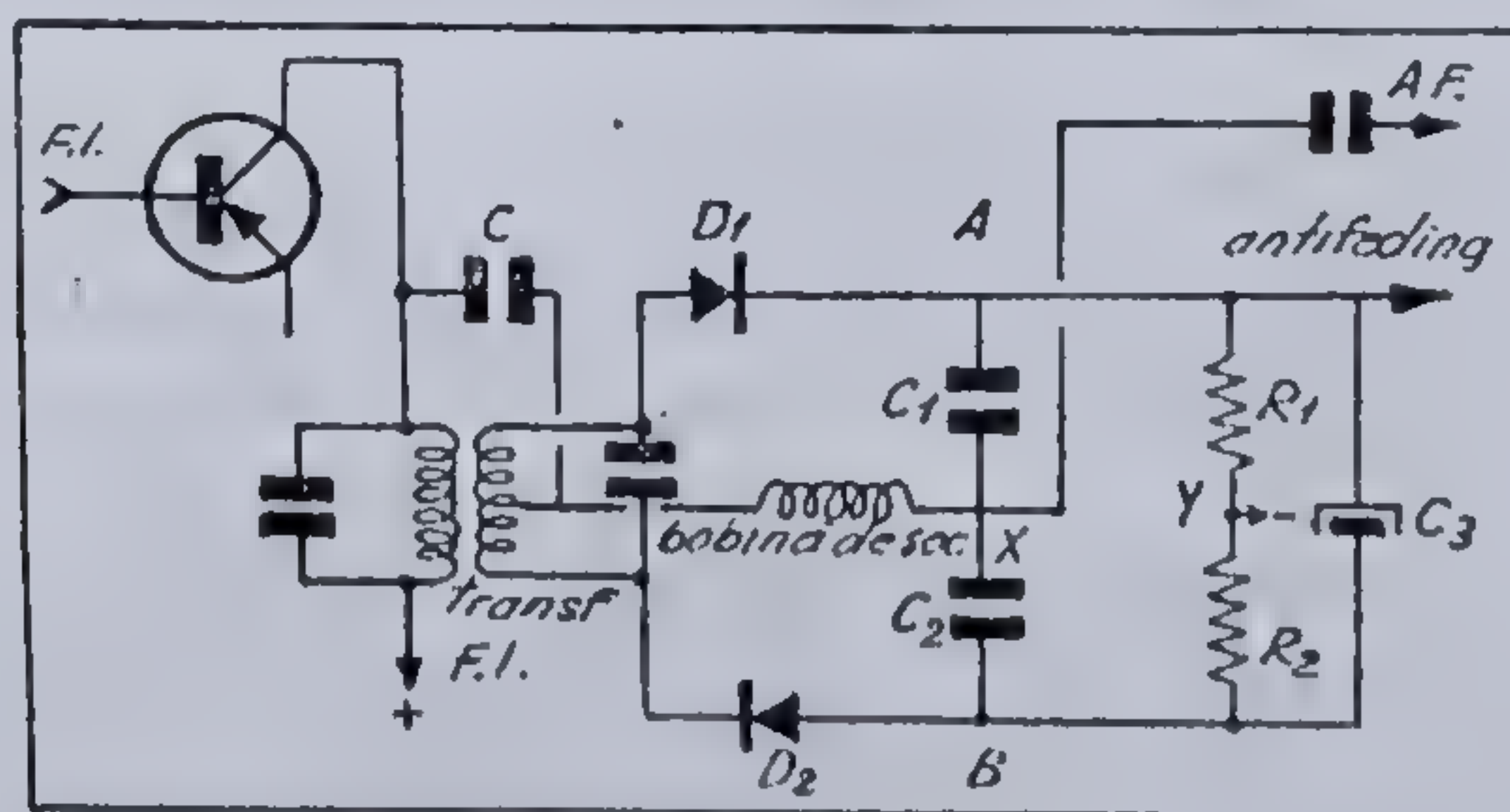
Valoarea acestei tensiuni variază în ritmul în care se modifică frecvența curentului de FI.

Cu alte cuvinte, între punctele A și B regăsim, pur și simplu, tensiunea de AF, care a modulat la emisie unda purtătoare. Nu ne mai rămîne decît să o amplificăm prin procedeele obișnuite, înainte de a aplica pe difuzor.

DETECTORUL DE RAPORT

Un alt circuit de demodulare, numit detector de raport, are o schemă asemănătoare cu cea a discriminatorului pe care l-am studiat mai înainte. Cele două diode sînt legate, de această dată, în același sens și nu în opoziție.

Datorită acestui fapt, toate tensiunile induse în secundarul transformatorului sînt redresate și crează între A și X , pe de o



Demodulator de tipul detector de raport.

parte și între A și Y , pe de altă parte, două tensiuni care se adună. Suma lor, care apare între punctele A și B , încarcă condensatorul electrolitic C_3 , a cărui capacitate este de câțiva microfarazi.

Datorită condensatorului C_3 , tensiunea între punctele A și B nu-și schimbă valoarea, sub acțiunea variațiilor rapide de amplitudine provocate de paraziți atmosferici care nu reușesc să perturbe audierea.

În schimb, dacă, la intrarea în receptor, cîmpul electromagnetic scade datorită fadingului, tensiunea continuă dintre A și B își schimbă valoarea. Prin urmare această tensiune poate fi folosită pentru reglajul antifading.

În ceea ce privește tensiunile care apar pe armăturile condensatoarelor C_1 și C_2 , ele depind de valorile tensiunilor de pe cele două jumătăți ale bobinajelor secundare ale transformatorului de FI. Cînd am studiat discriminatorul, am constatat că aceste tensiuni sînt identice atunci cînd frecvența intermediară este — în lipsa modulației — 10,7 MHz și că diferă una de alta, cînd purtătoarea este modulată. În acest caz potențialul punctului X variază în raport cu potențialele punctelor A și B .

Modificările lui urmăresc ritmul variațiilor de frecvență, iar amplitudinea variațiilor lui este proporțională cu deviația de frecvență. Cu alte cuvinte, în punctul X se obține semnalul de audiofrecvență demodulat.

Există și alte circuite de demodulare. Nu-ți voi vorbi despre ele, pentru că cele două pe care ți le-am descris sînt cele mai importante.

După cum vezi, modulația de frecvență presupune receptoare mult mai complexe decît modulația de amplitudine. Dar să nu-ți închipui că realizarea lor nu merită osteneala, căci se obține o fidelitate pe care modulația de amplitudine n-o poate asigura nicicum.

Fii deci cît se poate de fidel modulației de frecvență !

Convorbirea a 15-a

Analiza imaginilor în televiziune

În această convorbire sînt abordate principiile fundamentale ale transducerii imaginilor prin procedeele actuale de televiziune. Curiosus îi explică prietenului său metoda de explorare secvențială a elementelor imaginii, se ocupă de banda frecvențelor video, explică rolul întreteserii liniilor și amintește principalele standarde folosite în diferite țări.

CINEMA — TRANSMITEREA IMAGINILOR ÎN TIMP

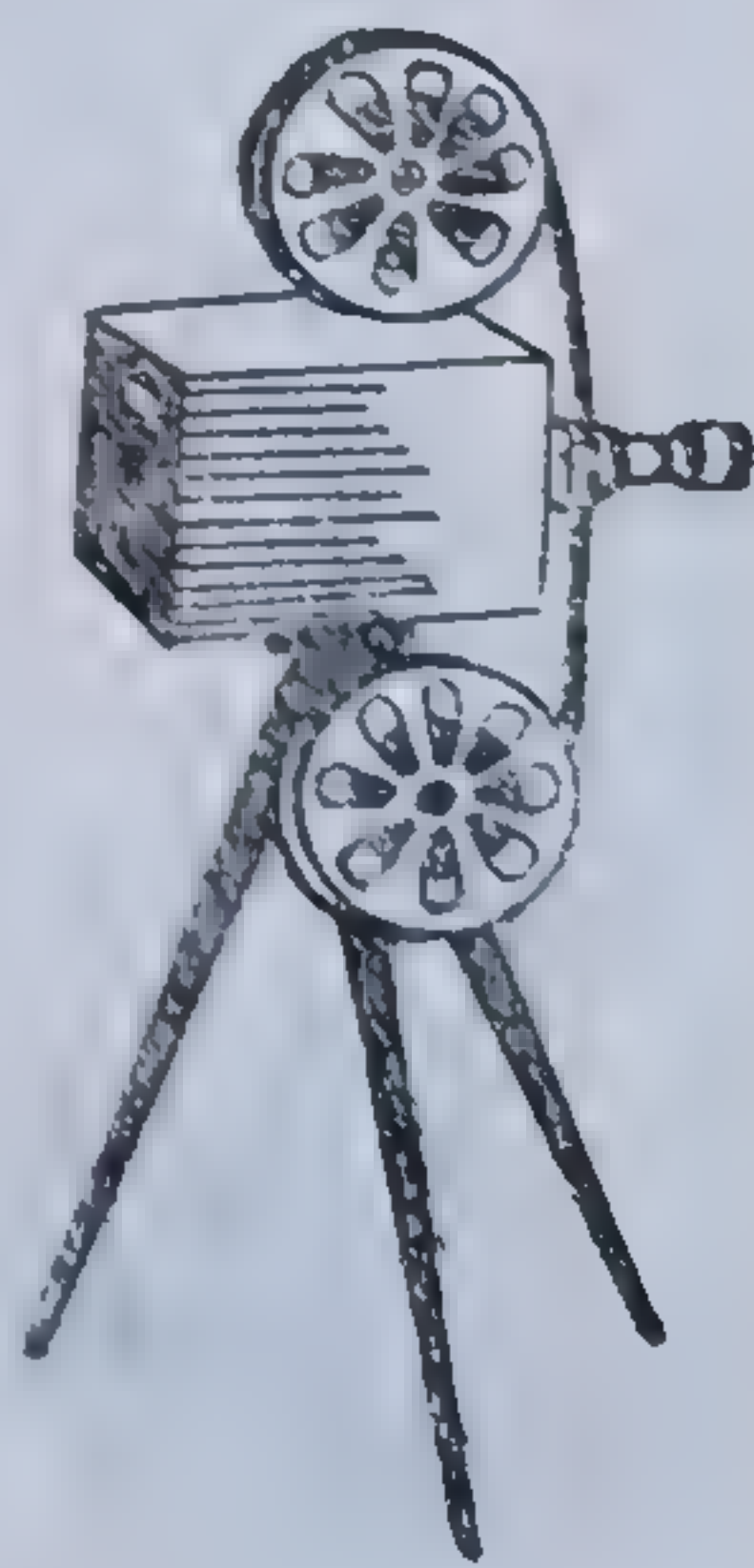
IGNOTUS : Ca de obicei, am ascultat cu mult interes și cu multă atenție expunerea înregistrată de unchiul tău pe bandă de magnetofon. Am aflat astfel cu surprindere că semnalul de televiziune ocupă o bandă enormă de frecvențe : șase megahertzi. Am auzit folosindu-se și termenul „semnal video“. Presupun că în latinește video înseamnă vîd.

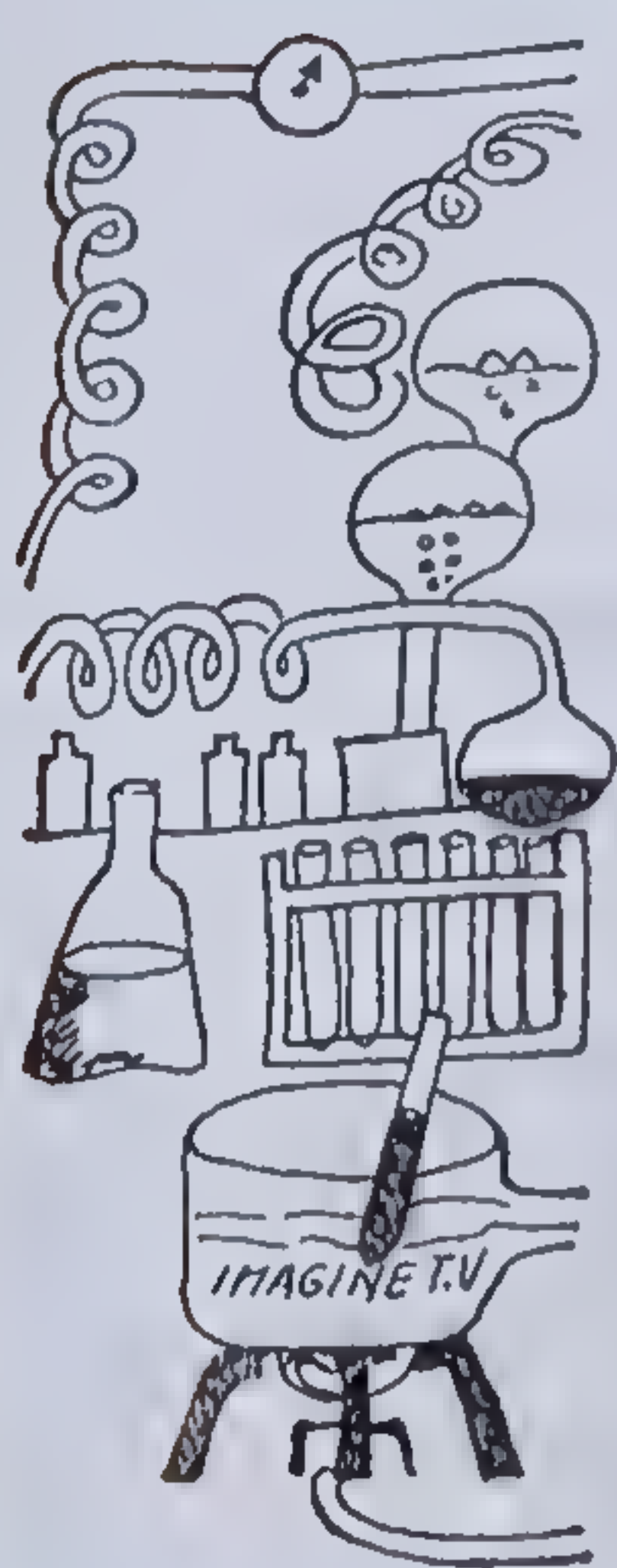
CURIOSUS : Văd că te pricepi la latină. În schimb se pare că nu cunoști nici măcar principiile elementare ale televiziunii.

IGNOTUS : Mă nedreptățești. Știu că în televiziune se transmit în fiecare secundă 25 de imagini, număr pe deplin suficient.

De curînd am citit un articol despre începuturile cinematografului. Din el am aflat că invenția fraților Louis și Auguste Lumière există datorită persistenței senzațiilor vizuale. Ele se păstrează cam o zecime de secundă în creier și nu pe retina ochiului, cum se afirmă adesea.

CURIOSUS : Așa este. La început, cinematograful mut folosea 16 imagini pe secundă. Datorită persistenței senzațiilor vizuale nu se putea distinge o imagine de cea care o preceda sau de cea care o urma. Continuitatea nu era pe deplin asigurată.





Începînd din 1930, odată cu apariția cinematografului sonor, s-a trecut la 24 de imagini pe secundă, frecvență foarte apropiată de cea utilizată în televiziune.

IGNOTUS : Acum înțeleg de ce ne intrigă rapiditatea mișcărilor și gesturilor pe care le fac oamenii în filmele foarte vechi, transmise la televizor. Explicația e simplă : aceste filme, care au fost înregistrate cu viteza de 16 imagini pe secundă, sînt redade cu viteza de 25 de imagini pe secundă.

Dar tot nu înțeleg de ce e nevoie de o bandă atît de largă pentru modulația video.

TRANSMITEREA SECVENȚIALĂ ÎN TELEVIZIUNE

CURIOSUS : Șă știi Ignotus că, dacă atunci cînd vedem un film, ochiul nostru compune mișcarea din imagini întregi, transmise una după alta în timp, în cazul televiziunii, se transmit succesiv elemente de imagine și nu imagini întregi.

IGNOTUS : Ce este un element de imagine ?

CURIOSUS : Cea mai mică porțiune din imagine ; o suprafață suficient de mică, pentru ca luminozitatea (ar trebui de fapt să folosim termenul *strălucire*) să fie uniformă. Aceste elemente de imagine sînt atît de mici încît li se spune și „puncte“. Bine înțeles că termenul este impropriu, pentru că, după cum știm din geometrie, punctul nu are nici lungime nici lățime, în timp ce elementele noastre au dimensiuni — chiar dacă acestea sînt foarte mici.

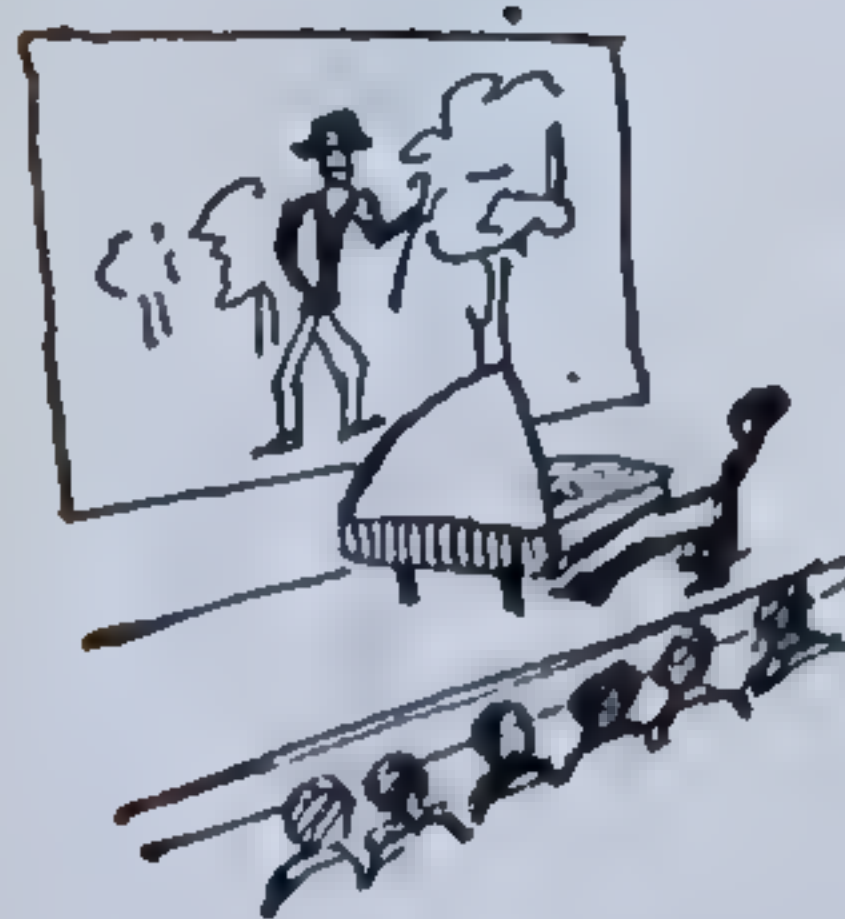
IGNOTUS : În ce ordine se transmit ele ?

CURIOSUS : Exact în ordinea în care se citește o carte. În fiecare rînd se parcurg, de la stînga la dreapta, elementele de text, adică literele. Ajunsă la capătul unui rînd, privirea coboară puțin și se întoarce repede la stînga, spre începutul rîndului următor, reluînd urmărirea literelor. Un rînd de carte ar corespunde unei porțiuni foarte înguste a imaginii pe care în televiziune a numim „linie“.

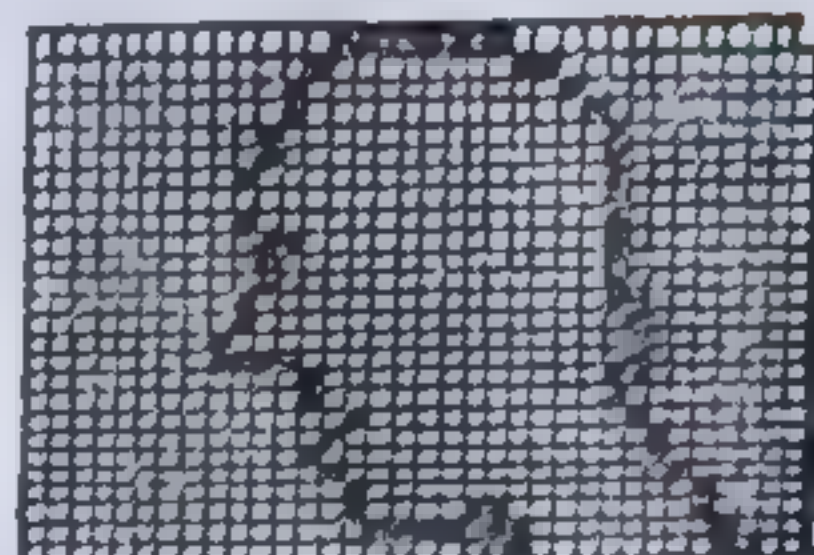
IGNOTUS : Dacă am înțeles bine, fiecare imagine transmisă la televizor corespunde unei pagini de carte. Și „citim“ 25 de imagini pe secundă, nu ?

CURIOSUS : Exact.

IGNOTUS : Cu această viteză, aș putea citi mîile de pagini ale operelor complete ale lui Balzac în cîteva minute !... Și cîte rînduri sînt pe o pagină ?... voiam să spun... cîte linii sînt pe o imagine ? Dar pe un rînd, cîte litere sînt ? Altfel spus, cîte elemente cuprinde o linie ?



Simt să răspunzându-mi la aceste întrebări, îmi vei explica și de ce este necesară acea bandă uriașă de trecere utilizată pentru televiziune.



NU EXISTĂ UN STANDARD INTERNAȚIONAL

CURIOSUS : Intuiția nu te înșală. Trebuie să te previn de pe acum, că în domeniul televiziunii nu există un standard internațional. Diversele caracteristici ale semnalelor sînt, din păcate, diferite de la o țară la alta.

De exemplu, dacă în Europa frecvența imaginilor este de 25 pe secundă, în America se transmit 30 de cadre pe secundă. Diferența se explică prin faptul că în Europa frecvența tensiunii în rețeaua de alimentare cu energie electrică este de 50 Hz în timp ce dincolo de ocean frecvența rețelei este de 60 Hz.

Și mai gravă este varietatea standardelor referitoare la numărul de linii în care se descompune imaginea. În Europa s-a adoptat *definiția* (termenul folosit pentru această caracteristică importantă) de 625 de linii. În Franța se mai folosește și definiția de 819 linii alături de cea de 625 de linii, iar în America se utilizează 525 de linii.

IGNOTUS : Știu că și în ceea ce privește televiziunea în culori, există diferențe; pe continentul american și în Japonia s-a adoptat un sistem numit NTSC, în timp ce în Europa, unele țări au preferat sistemul francez SECAM, iar altele sistemul german PAL.

CURIOSUS : Așa este, prietene. Și, în timp ce progresul tehnic asigură legături din ce în ce mai strînse, între toate țările lumii — în special datorită apariției și dezvoltării rapide a aviației și a tehnicii radio — popoarele sînt separate, nu numai datorită consecințelor turnului Babel (nu există o limbă internațională unanim acceptată), ci și datorită diferențelor dintre standardele de televiziune.

Să examinăm acum, cazul imaginii descompuse în 625 de linii. Cum fiecare linie se transmite de 25 de ori într-o secundă, rezultă că frecvența lor este $625 \times 25 = 15\,625$ linii pe secundă.

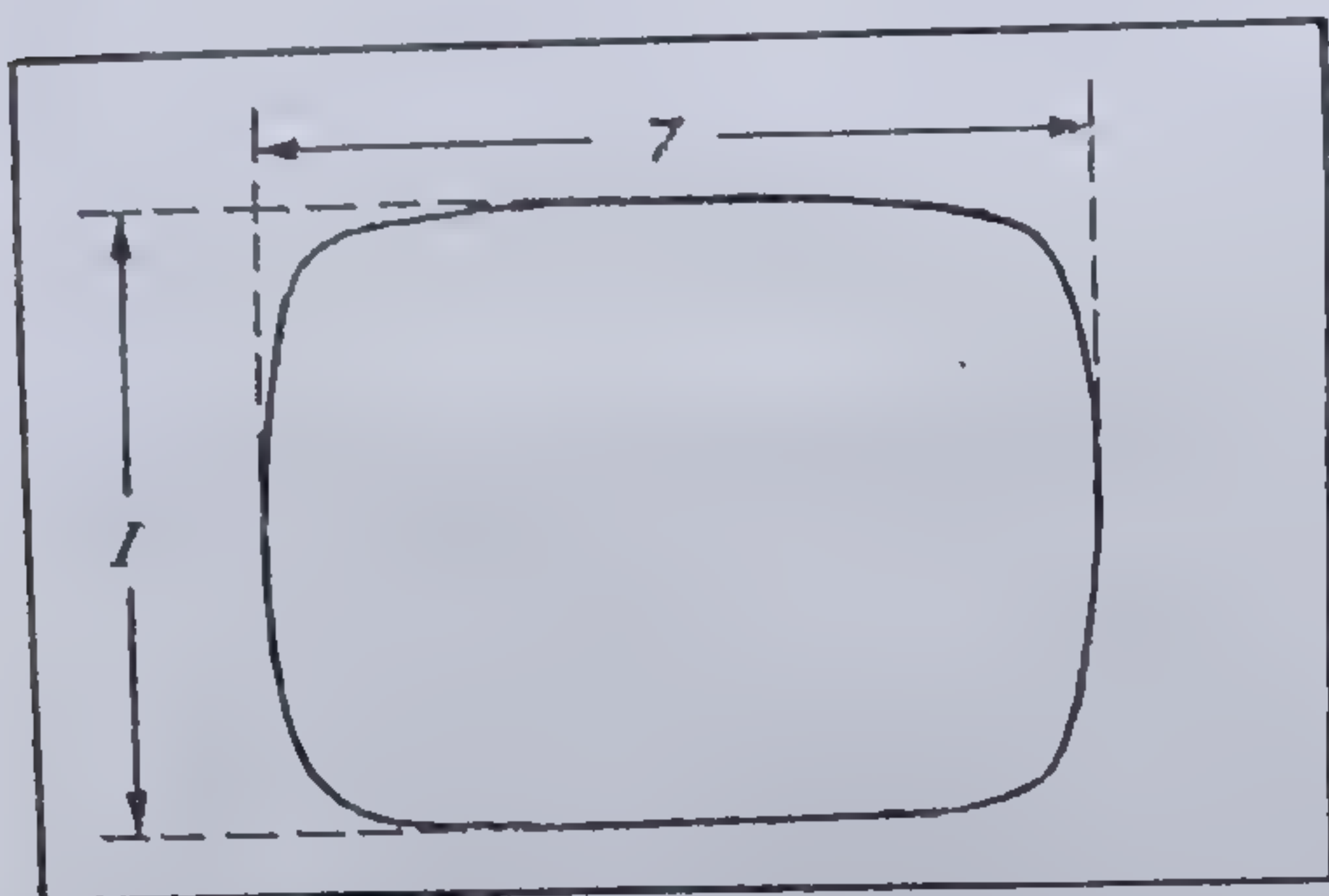
BANDA FRECVENȚELOR VIDEO

IGNOTUS : Nu mi-ai spus cîte „puncte” conține o linie.

CURIOSUS : Lățimea imaginii de televiziune este cu o treime mai mare decît înălțimea ei. Prin urmare, dacă vom



considera că fiecare element e un pătrat minuscul, care are ca latură distanța dintre două linii vecine, numărul de pătrate pe o linie va fi cu o treime mai mare decât numărul de linii dintr-o imagine. Deci, fiecare linie a unui cadru cu 625 de linii va conține 833 de elemente.



Lățimea L a imaginii de televiziune este cu o treime mai mare decât înălțimea l .

```

15625 x 833
-----
 46875
+46875
-----
125000
-----
13015625

```

IGNOTUS : Dă-mi voie să calculez câte elemente sînt parcurse într-o secundă. Se transmit 15 625 de linii pe secundă și fiecare linie conține 833 de elemente... Deci... Vai de mine ! Am obținut peste 13 milioane de elemente pe secundă.

Să fie nevoie de un număr chiar atît de mare de perioade pe secundă, pentru a transmite toate punctele ?

CURIOSUS : Nu, căci se consideră că fiecare element poate fi transmis de cîte o alternanță a semnalului video. În aceste condiții, fiecare perioadă poate transmite două elemente.

IGNOTUS : Prin urmare cu 6,5 milioane de perioade pe secundă, vom putea transmite o imagine cu 625 de linii.

CURIOSUS : În practică, ne mulțumim cu o bandă de 6 MHz. Din această cauză, fiecare element de imagine nu e chiar perfect pătrat : lățimea sa e puțin mai mare decât înălțimea. Cu alte cuvinte, definiția pe orizontală este, într-o foarte mică măsură, mai scăzută decât definiția pe verticală.

EMISIUNILE DE TELEVIZIUNE

IGNOTUS : Știind că frecvența undei purtătoare trebuie să fie de cîteva ori mai mare decât banda de frecvențe transmisă, presupun că în televiziune se folosesc frecvențe și mai înalte decât în radiodifuziunea cu modulație de frecvență.

CURIOSUS : Nu e obligatoriu. Multe emițătoare de televiziune utilizează undele metrice. Emițătoarele care funcționează pe canalele I și II folosesc banda cuprinsă între 48,5 și 65 MHz, cele de pe canalele III—V lucrează în banda 76—100 MHz, iar cele de pe canalele VI—XII ocupă banda dintre 174 și 230 MHz. Emițătoarele mai noi, cum vor fi cele ce vor transmite programul 2 în diferite localități din România, vor funcționa pe unde decimetrice în două benzi cuprinse între 470 și 790 MHz.

IGNOTUS : Lungimea de undă care corespunde acestei ultime frecvențe este de numai 38 de centimetri. Cred că pe această frecvență, zona de serviciu a unui emițător nu e prea mare.

CURIOSUS : Într-adevăr ea atinge, în cel mai bun caz, 50 km. Iată de ce sînt necesare atîtea stații de televiziune pentru a transmite fiecare program. Fiecare stație primește programul de la studio, prin cabluri sau prin radiorelee. Acestea utilizează unde foarte, foarte scurte, dirijate în fascicule înguste, de la un emițător la un receptor; acesta le introduce într-un alt emițător care, la rîndul lui, le transmite mai departe, tot sub formă de fascicul, alcătuind un fel de lanț.

LINII ÎNTREȚESUTE

IGNOTUS : Pînă acum mi-am format o idee generală despre modul în care se transmit imaginile de televiziune. Putem să trecem la studierea concretă a aparatelor care se utilizează în acest scop.

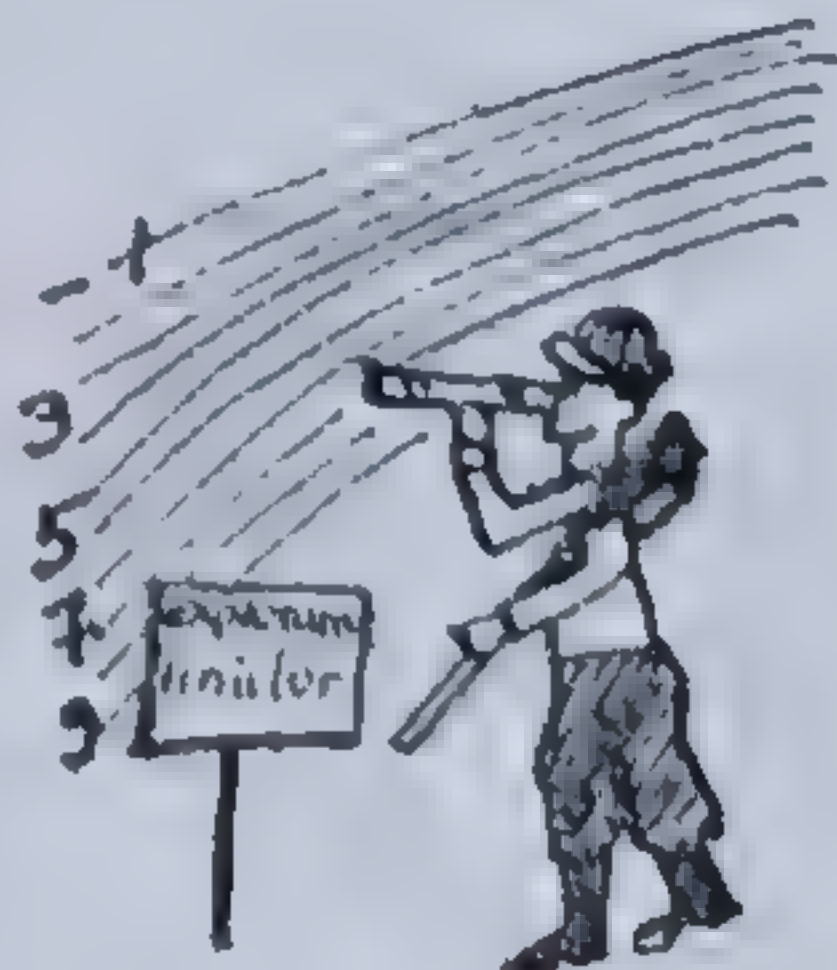
CURIOSUS : Nu încă, pentru că am omis să-ți explic unul din aspectele fundamentale ale tehnicii televiziunii : *întrețeserea liniilor*.

IGNOTUS : Ce înțelegi prin întrețesere ? Și la ce servește ea ?

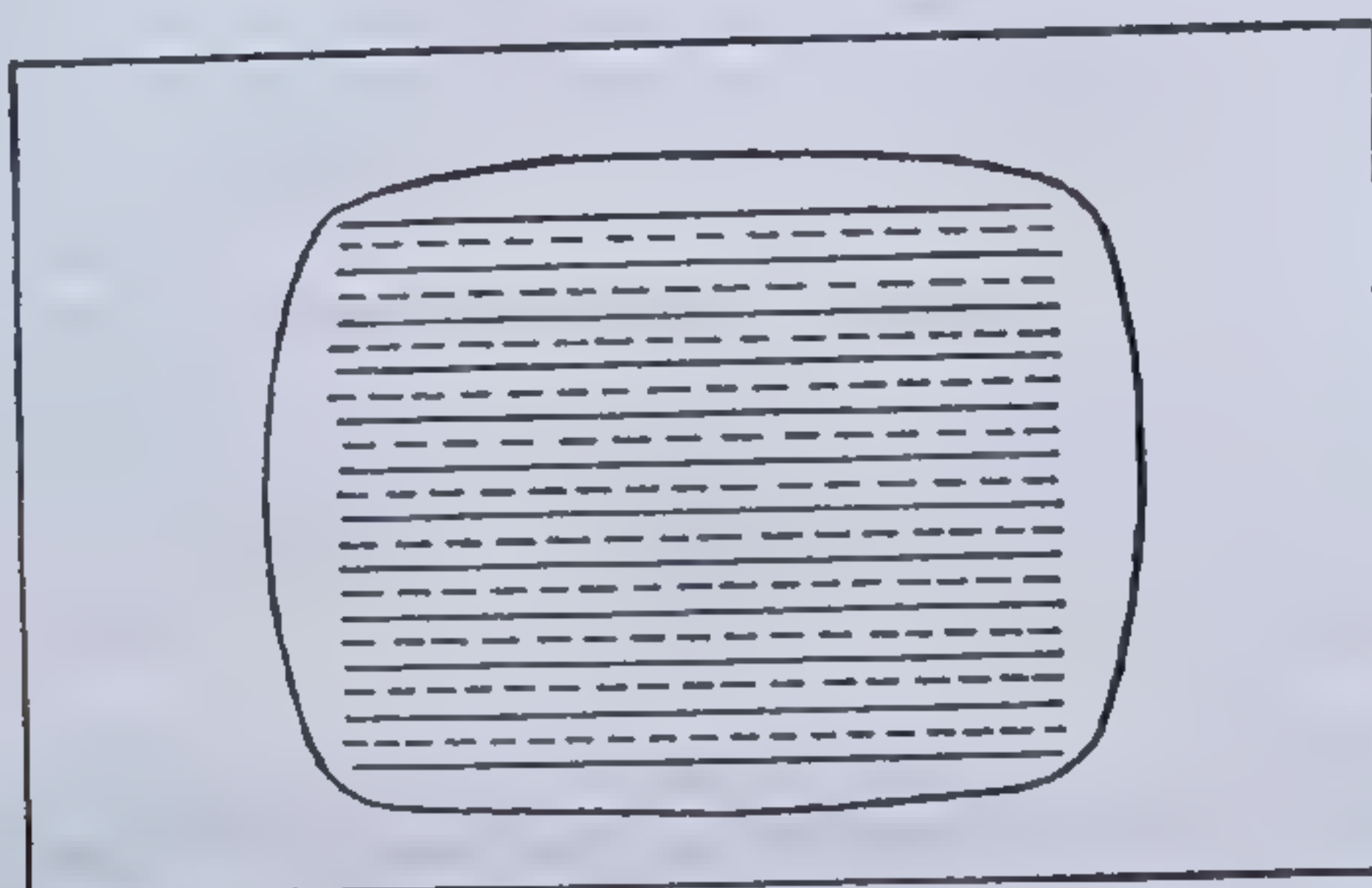
CURIOSUS : Dacă am transmite cele 625 de linii ale fiecărei imagini, așa cum ți-am explicat, pornind de la prima și oprindu-ne la ultima, am risca să vedem o imagine care pîlpîie. Intervalul de $1/25$ dintr-o secundă, pînă la apariția unei noi linii în același loc, este puțin prea mare pentru limitele senzației de persistență vizuală și am avea impresia că imaginea pîlpîie.

IGNOTUS : Și care este soluția adoptată ?

CURIOSUS : Soluția constă în întrețesere. În loc să transmitem liniile succesiv, transmitem timp de $1/50$ dintr-o secundă toate liniile impare, apoi tot timp de $1/50$ dintr-o secundă toate liniile pare.



IGNOTUS : Deci se explorează întâi liniile 1-3-5-7-9 etc. pînă la 625, apoi liniile 2-4-6-8-10 etc. pînă la 624. Este exact ?



Întreșeserea liniilor la transmiterea unei imagini. După ce se transmit liniile pare (trasate continuu) se transmit liniile impare (trasate întrerupt) și apoi se reîncepe acest ciclu.

CURIOSUS : Ai înțeles perfect. În acest fel fiecare imagine este împărțită în două cîmpuri : cîmpul liniilor impare, apoi cîmpul liniilor pare. În acest fel, telespectatorul urmărește aparent 50 de imagini pe secundă, fapt care înlătură orice pîlpire.

PRINCIPIILE FUNDAMENTALE ALE TELEVIZIUNII

*Pentru a citi acest text
să se continue
întreșesut, trebuie
cu liniile pare
să se citească întâi
exact așa cum se
liniile impare iar
face la televiziune
apoi, fără pauză*

IGNOTUS : Bine gîndit ! Din fericire întreșeserea nu este folosită și de editorii de cărți ; altfel critica lor ar fi destul de complicată : întâi rîndurile impare, apoi cele pare...

Încerc să deduc cum se transformă imaginile în semnale electrice și cum se reconstituie aceste imagini la recepție.

Unchiul tău mi-a spus că există semiconductoare sensibile la lumină. Presupun deci, că la emisie se proiectează succesiv elementele imaginii pe un corp fotoelectric de acest gen. În funcție de strălucirea lor, se obține un curent mai mic sau mai mare, care este semnalul video.

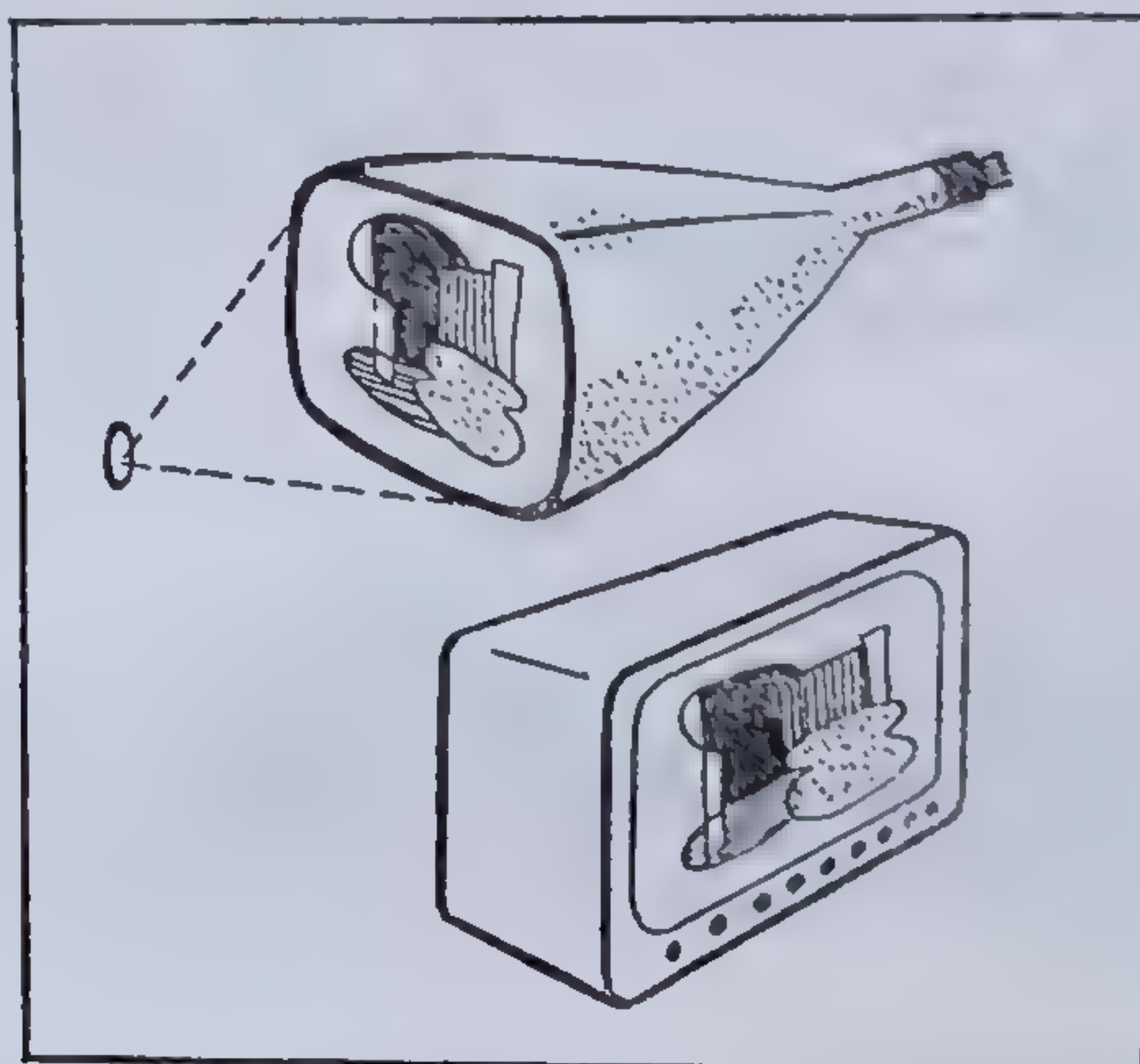
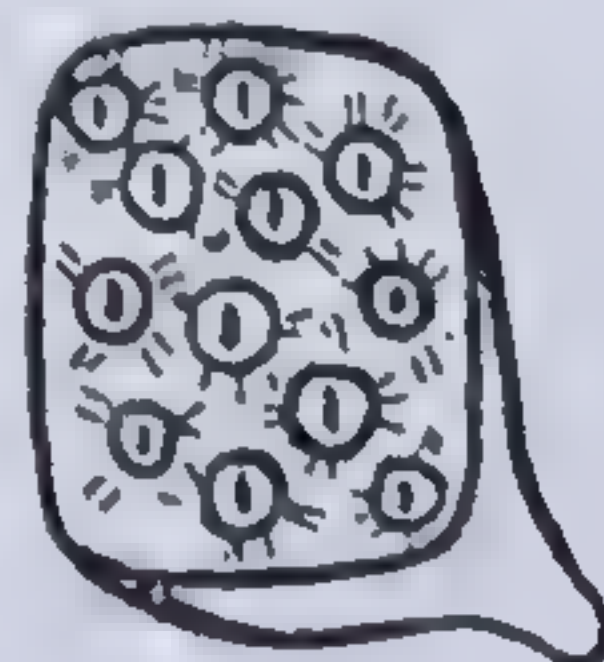
La recepție, acest semnal produce probabil o lumină care depinde de amplitudinea lui. Iar fasciculul luminos, modulat de semnal, este proiectat pe ecranul televizorului, sincronizat cu explorarea imaginii la emisie.

Cred că ipotezele mele sînt corecte. Am dreptate ?

CURIOSUS : Îmi pare rău că te dezamăgesc, dar lucrurile nu se petrec așa. Pentru a străbate 625 de linii de cîte 25 de

ori pe secundă, raza de lumină ar trebui să facă într-o secundă 15 625 de drumuri dus și întors. Nu cunosc nici un mijloc care să silească lumina la un astfel de du-te-vino.

Plimbarea atât de grăbită este lăsată, atât la emisie cât și la recepție, pe seama fasciculului de electroni proiectați în vid, într-un tub catodic. Unchiul meu îți va descrie aceste tuburi și modul lor de funcționare. Deocamdată, este suficient dacă știi că la emisie, fasciculul parcurge o suprafață pe care se proiectează, cu ajutorul unui obiectiv, imaginea de transmis. Fiind alcătuită din elemente fotosensibile, această suprafață determină variații ale intensității fasciculului de electroni, care depind de strălucirea fiecărui element de imagine. Astfel ia naștere semnalul video.



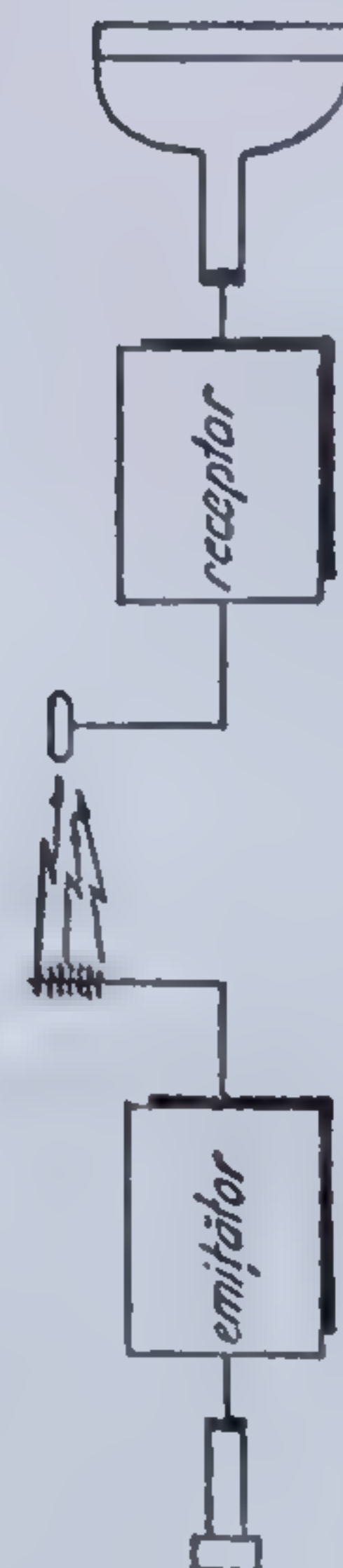
sus — Imaginea de transmis este proiectată pe o suprafață fotosensibilă a unui tub catodic.

jos — Receptorul de televiziune este echipat cu un tub catodic cu ecran luminescent.

La recepție, fasciculul de electroni străbate un drum identic, în timp ce intensitatea sa este comandată de semnalul video primit de la emițător. Electronii lovesc un ecran fluorescent, pe care apare o lumină proporțională cu intensitatea fasciculului.

Acesta este principiul fundamental al televiziunii.

IGNOTUS : Pasionant ! Aștept cu nerăbdare explicațiile pe care mi le va oferi, cu cunoscuta-i amabilitate, profesorul Radiol.



Profesorul Radiol vorbește despre

Tubul catodic

Folosit în televiziune, atât la emisie cât și la recepție, tubul catodic este prevăzut cu elemente care emit un fascicul de electroni, îi reglează intensitatea, îl focalizează, îl deviază. Toate aceste operații sînt descrise de profesorul Radiol, care se ocupă în partea finală a expunerii sale de evoluția televiziunii în viitor.

Într-adevăr, vrednicul meu Ignotus, trebuie să-ți explic structura și funcționarea tubului catodic care este utilizat în camerele și în receptoarele de televiziune.

De fapt, dispozitive de acest gen existau și înainte de apariția televiziunii. Ele se foloseau în osciloscoape, acele aparate de măsură care permit să se vizualizeze, sub forma unor curbe, variațiile tensiunilor electrice.

TUNUL ELECTRONIC

Așa cum arată și numele lui, tubul catodic conține un catod, în general cu încălzire indirectă, care emite electroni. Aceștia sînt atrași de un anod pus la un potențial pozitiv față de catod. Intensitatea fasciculului de electroni atrași de anod este reglată de potențialul unui electrod așezat între catod și anod, numit — după numele creatorului său — cilindru Wehnelt sau *grîlă Wehnelt*. Acest electrod are forma unui cilindru care înconjoară parțial catodul și a cărui bază are o deschidere largă prin care trec electronii.

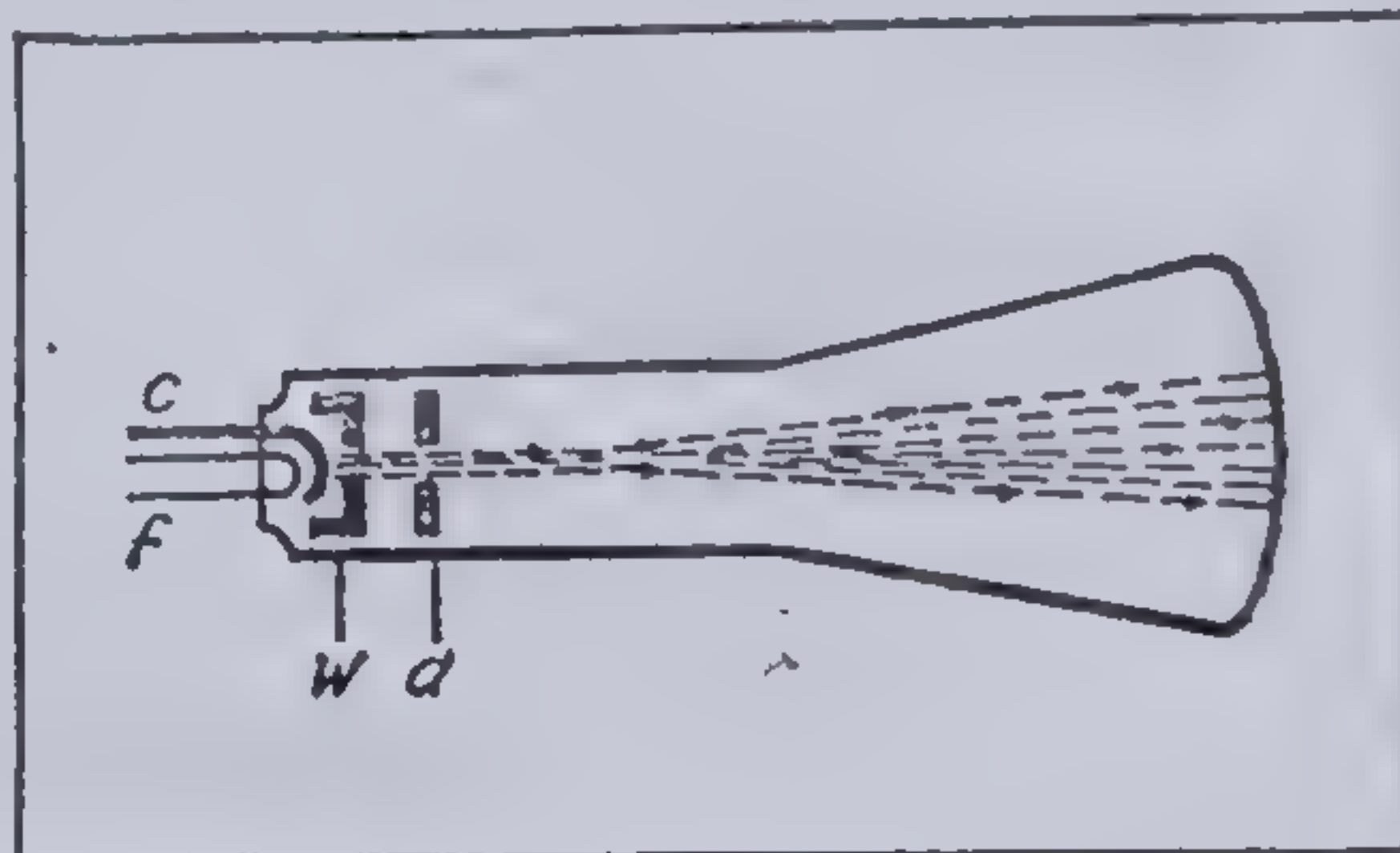
Sînt că ești nemulțumit și că ai vrea să-mi spui: „De ce nu spunei că este vorba pur și simplu de o triodă?”

Intr-adevăr, grila Wehnelt are același rol ca și grila unei triode. Ansamblul acestor trei electrozi se numește *tun electronic*. De ce? Există vreo asemănare între acest dispozitiv și un tun? Da. În anod există o perforație, astfel că o bună parte din electronii atrași de acesta sînt proiectați mai departe prin gaura din anod.

În studio, fasciculul de electroni explorează diferite elemente ale unei imagini, analizînd, linie cu linie, o suprafață fotosensibilă pe care este proiectată imaginea. În receptor, fasciculul determină apariția imaginii pe un ecran fluorescent.

Vom examina în detaliu aceste funcțiuni.

Structura tunului care proiectează un fascicul de electroni într-un tub catodic:
 f — filament; c — catod; w — grilă Wehnelt; a — anod



Mai întii, trebuie să-ți descriu două operații fundamentale: focalizarea fasciculului de electroni, și devierea acestuia pentru a asigura explorarea elementelor de imagine.

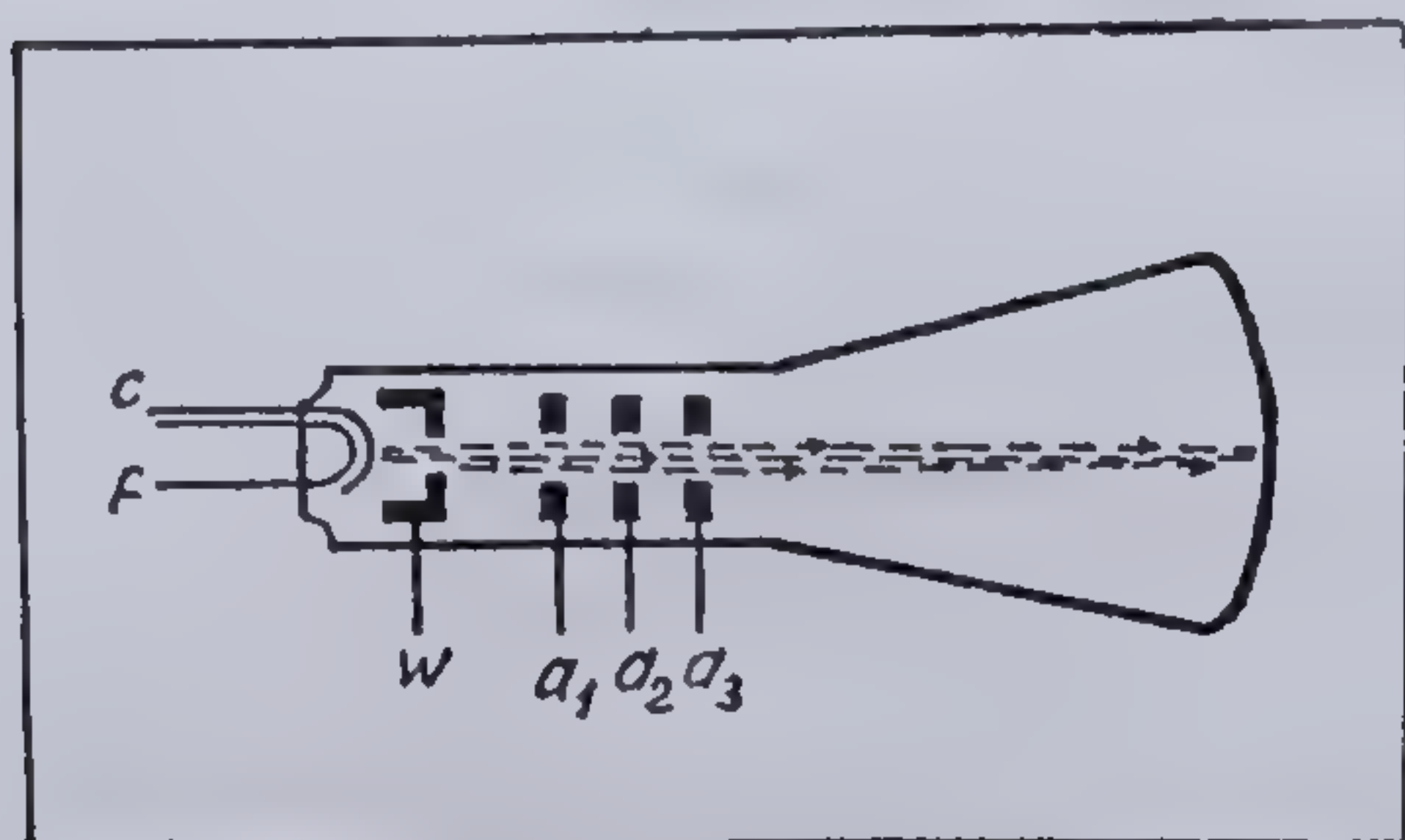
METODE DE FOCALIZARE

Este necesar ca fasciculul de electroni să fie perfect focalizat, astfel încît, atunci cînd atinge ecranul, grosimea lui să nu depășească dimensiunile unui element de imagine. Această, *grosime în punctul de contact cu ecranul*, este cunoscută sub denumirea de *spot*.

Pentru ca spotul să fie suficient de mic, fasciculul este silit să străbată o „lentilă electronică”, adică un dispozitiv în care liniile de forță electrice sau magnetice exercită asupra fluxului de electroni, un efect identic cu cel pe care l-ar avea o lentilă biconvexă asupra razelor de lumină.

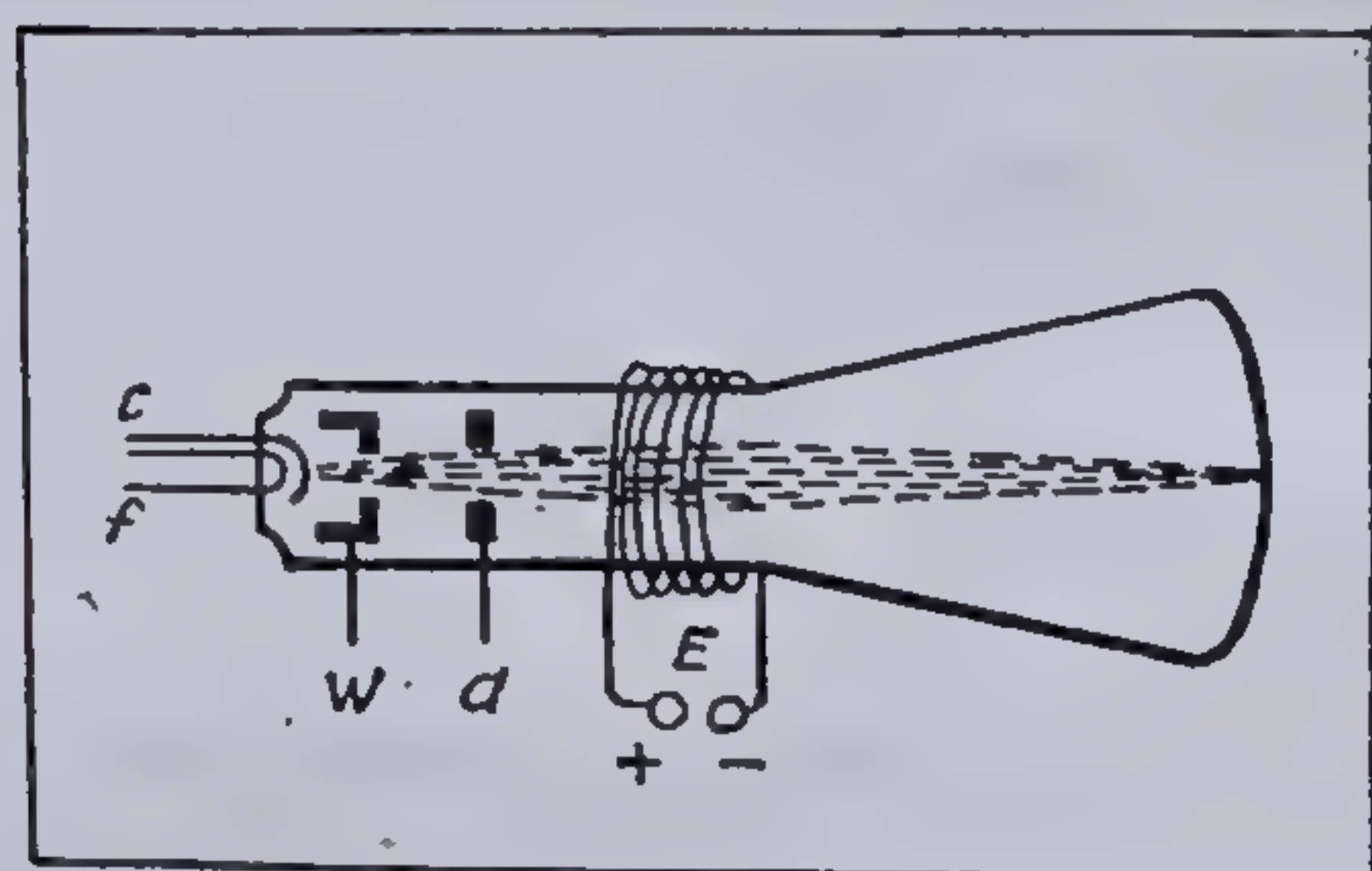
Focalizarea se realizează prin acțiunea cîmpului electric, așezînd un al doilea anod, perforat și el, după cel dintîi și punîndu-l la un potențial mult mai înalt. Dacă este necesar, în continuare se mai poate monta încă un anod și mai pozitiv decît cel de al doilea.

Datorită diferențelor de potențial dintre anozii pe care-i traversează pe rînd fasciculul de electroni, acesta este supus acțiunii unui cîmp electric, pe drumul de la un anod la următorul. Sub acțiunea cîmpului electric, toți electronii ale căror trasee tind să se îndepărteze de axul sistemului sînt readuși cît mai aproape de ax.



Sub acțiunea mai multor anozii, fasciculul de electroni este focalizat și ajunge foarte îngust, pe ecran.

În tuburile catodice utilizate în televiziune, potențialele anozilor ating adesea valori de zeci de mii de volți. Intensitatea curenților anodici este însă foarte mică. Tragi singur concluzia că puterea consumată de tub nu e prea mare.



Sub acțiunea mai multor anozii, fasciculul de electroni este focalizat și ajunge foarte îngust, pe ecran.

Fasciculul poate fi focalizat și dacă electronii sînt supuși acțiunii unui cîmp magnetic produs de curentul electric dintr-o bobină care înconjoară tubul catodic. Electronii sînt grupați pe axul bobinei, care coincide cu axul tunului electronic.

DEFLEXIA ELECTROSTATICĂ

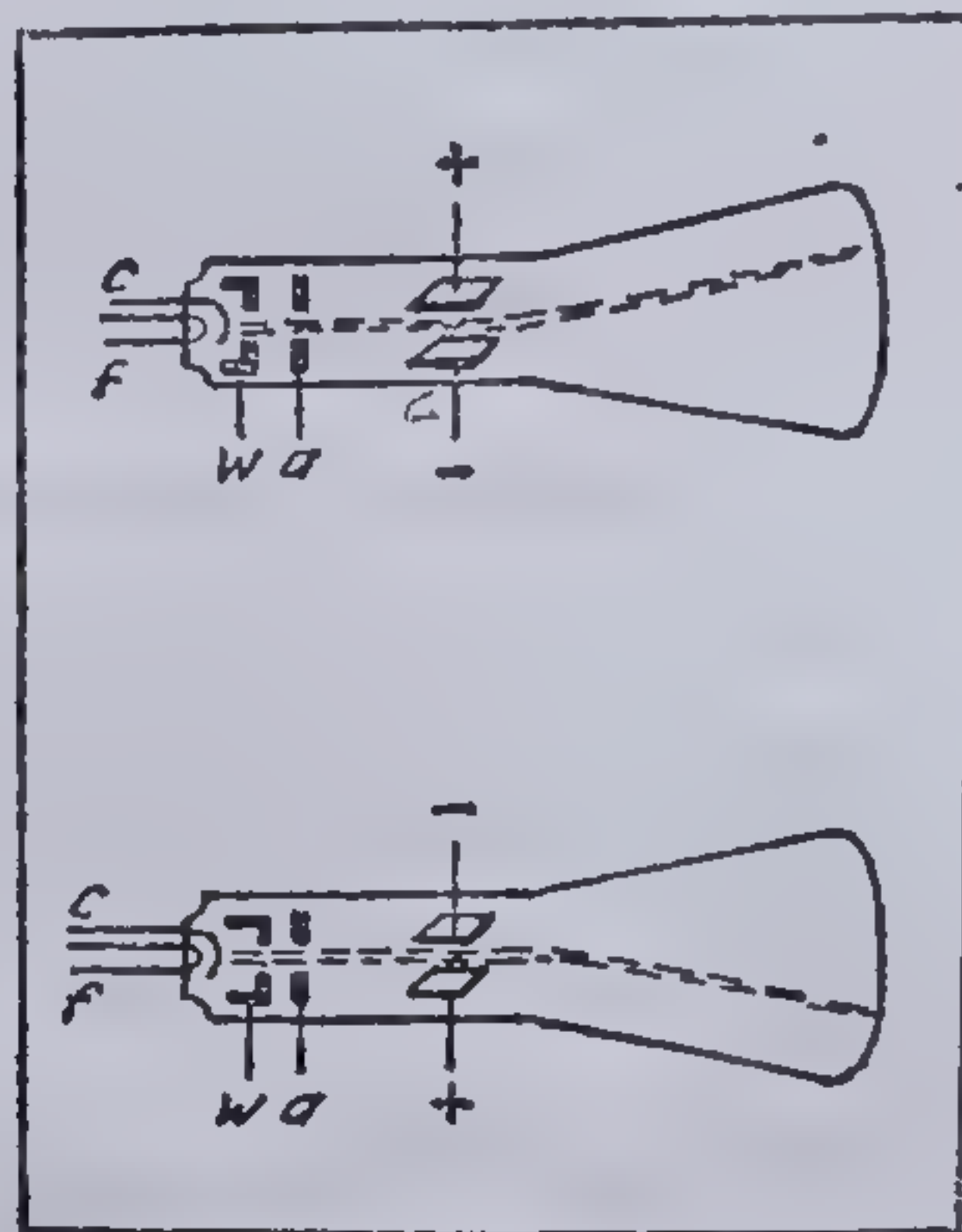
Am reușit să concentrăm fasciculul astfel încît spotul care ajunge pe ecran să aibă dimensiuni minuscule. Dar spotul imobilizat în centrul ecranului nu ne-ar servi la nimic. Trebuie

să-l silim să exploreze liniile întreșesute ale celor două cîmpuri despre care ți-a vorbit Curiosus în ultima voastră convorbire.

Cum se poate obține deviația spotului, pe de o parte pe orizontală, astfel încît să se parcurgă rapid fiecare linie, pe de altă parte pe verticală, pentru a trece de la o linie impară la altă linie impară sau de la o linie pară la următoarea linie pară?

În plus, este necesar ca spotul să se întoarcă foarte repede de la sfîrșitul unei linii, la începutul liniei care trebuie explorată în continuare, iar de la sfîrșitul ultimei linii a unui cîmp, spotul trebuie să sară la începutul primei linii a cîmpului următor.

Devierea unui fascicul de electroni cu ajutorul unui cîmp electric. Polul pozitiv atrage electronii, iar polul negativ îi respinge.



Devierea fascicului de electroni din tubul catodic (numită și deflexie sau baleiaj) poate fi obținută prin variația unui cîmp electric sau a unui cîmp magnetic. Vei afla mai tîrziu ce formă trebuie să aibă și cum se generează tensiunile sau curenții electrice care comandă baleiajul.

Cîmpul electric se poate obține aplicînd o diferență de potențial între două plăci metalice, așezate de o parte și de alta a fasciculului. Ele se comportă ca armăturile unui condensator. Armătura pozitivă atrage electronii, în timp ce cea negativă îi respinge.

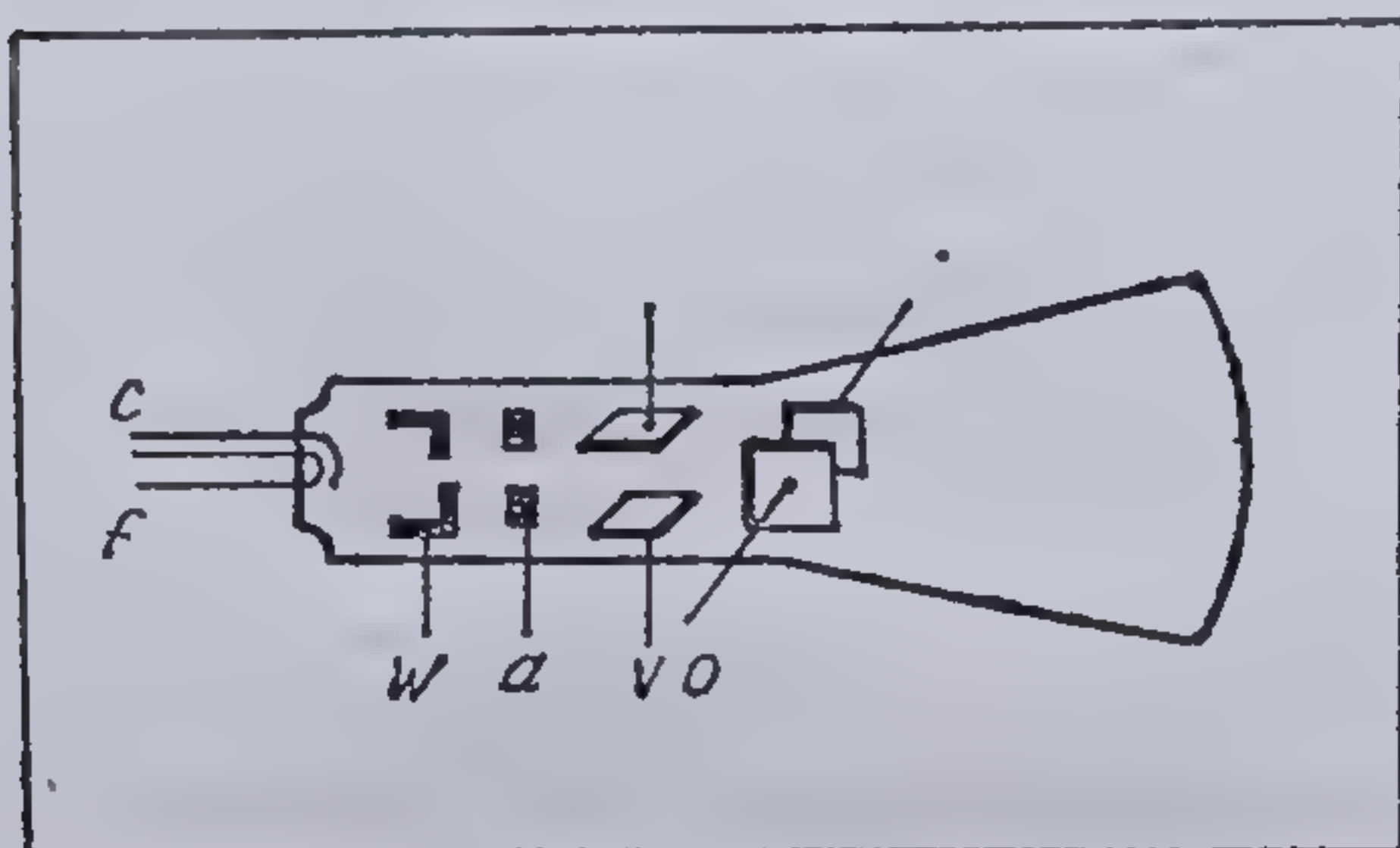
Este evident că două plăci așezate orizontal vor devia fasciculul pe verticală. În mod asemănător, pentru deplasarea fasciculului pe orizontală, vor fi necesare două plăci verticale.

Acesta este sistemul de deflexie utilizat în osciloscop. Tuburile catodice folosite în osciloscop au plăci orizontale și plăci verticale. Pe plăcile orizontale se aplică tensiunea variabilă a

cărei formă dorim să o vedem ; această tensiune deviază deci spotul pe verticală.

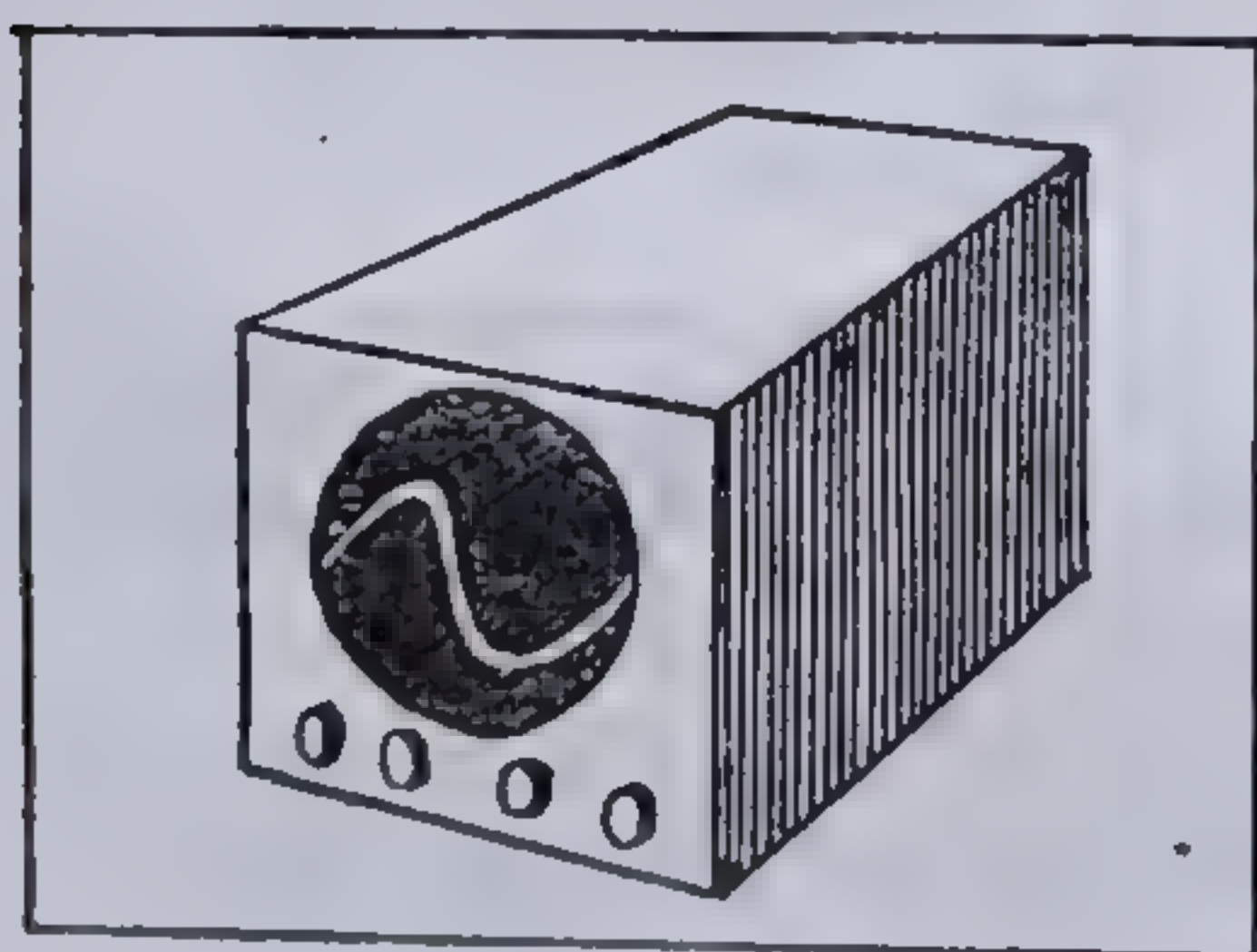
Pe plăcile verticale vom aplica o tensiune care deplasează spotul cu o viteză constantă pe orizontală și care revine aproape instantaneu în punctul de plecare, la fiecare perioadă a tensiunii examinate.

Spotul determină apariția pe ecran a unei curbe care prezintă forma variației în timp a tensiunii care ne intere-



Plăcile orizontale *o* și plăcile verticale *v* asigură deflexia pe verticală și pe orizontală a fasciculului de electroni.

sează. Prin urmare, pe măsură ce spotul se deplasează de la stînga la dreapta, tensiunea examinată îl silește să urce sau să coboare în funcție de valoarea ei instantanee.



Această sinusoidă apare pe ecranul unui osciloscop catodic, căruia i se aplică pe plăcile orizontale de deflexie o tensiune alternativă, iar pe plăcile verticale o tensiune linear crescătoare de aceeași frecvență.

Dacă vei explora în acest fel tensiunea alternativă a rețelei, pe ecranul tubului catodic va apare o sinusoidă de toată frumusețea.

FLUORESCENȚA ECRANULUI

Este momentul să-ți explic că ecranul de care vorbim este acoperit în interior cu un strat dintr-o substanță fluorescentă, adică o substanță care devine luminoasă sub acțiunea unui bom-

TUBUL CATODIC

bardament cu electroni. Strălucirea ecranului este cu atît mai mare cu cît este lovită mai puternic substanța fluorescentă de către electroni.

Nu trebuie să confunzi fluorescența cu fosforescența caracteristică acelor substanțe care, după ce au stat la lumină, devin la rîndul lor luminescente. Datorită acestei proprietăți, strălucesc noaptea acele unor ceasuri deșteptătoare.

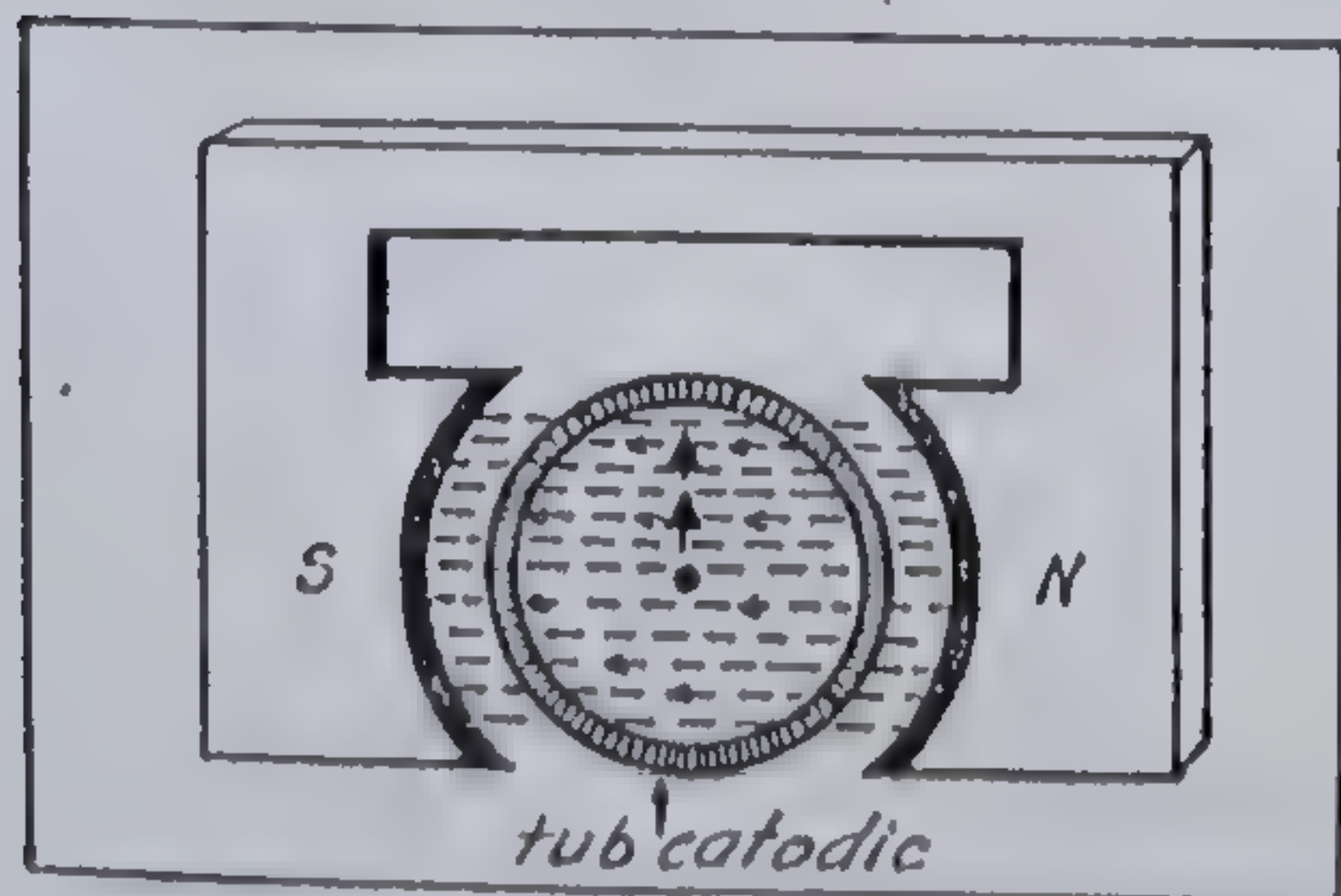
Pe ecranul tuburilor catodice utilizate în televizoare este aplicat un strat fluorescent semitransparent. Sub acțiunea fascicului de electroni, substanța fluorescentă devine luminoasă. În televizoarele monocrome (cărora li se spune adesea „televizoare în alb-negru”) lumina este albă. În televizoarele policrome (în culori) stratul fluorescent este compus din 1 200 000 de elemente, dintre care o treime radiază lumină roșie, o altă treime se colorează în albastru, iar ultima treime, în verde.

Îți voi explica mai tîrziu cum se poate obține toată gama culorilor, inclusiv lumina albă prin combinarea acestor trei culori fundamentale.

DEFLEXIA ELECTROMAGNETICĂ

Să revenim la problema deflexiei fascicului de electroni. Ți-am descris procedeul care se bazează pe variația cîmpului electric. Acest procedeu nu mai este utilizat astăzi în tuburile catodice folosite în televiziune. În tuburile moderne, fasciculul este deviat cu ajutorul unui cîmp magnetic produs de bobine aflate în afara tubului. În interiorul bobinelor poate exista un miez magnetic, dar în majoritatea cazurilor se renunță la miez.

Este necesar să-ți amintesc că liniile cîmpului magnetic tind să devieze electronii pe o direcție perpendiculară pe ele? Deci, dacă polii magnetici se află de o parte și de alta a tubului, liniile de forță sînt orientate orizontal, iar electronii sînt

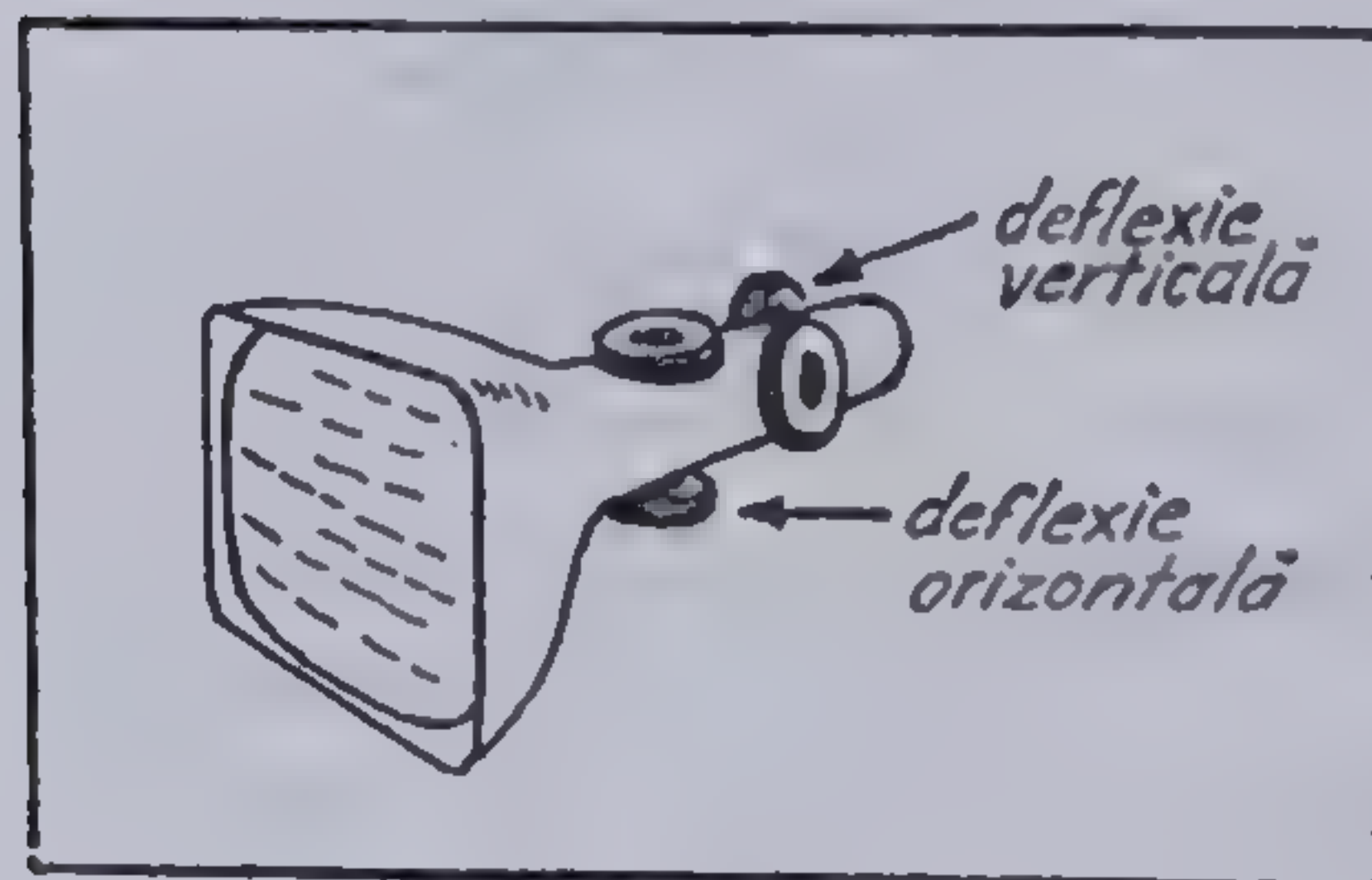


Sub acțiunea cîmpului magnetic al bobinei SN (săgeți subțiri) electronii sînt deviați pe o direcție perpendiculară pe ele (săgeți groase).

deviați în sus sau în jos. La fel, polii plasați deasupra și dedesubtul tubului deplasează fasciculul de electroni pe orizontală.

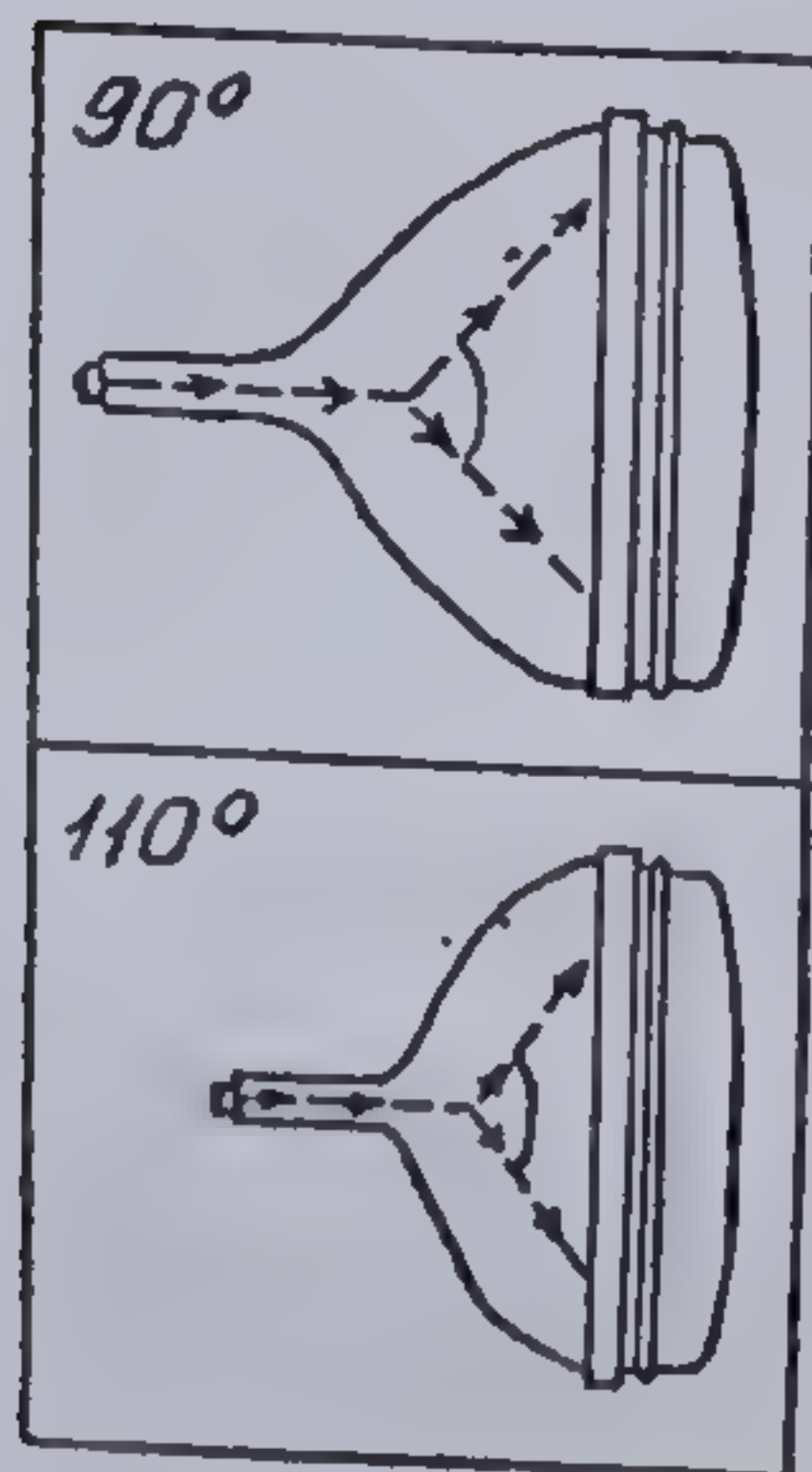
Dacă bobinele sînt străbătute de curenți variabili de o anumită formă, spotul va parcurge tot traseul necesar pentru explorarea imaginii.

După cum vezi, tubul catodic este înconjurat de destul de multe bobine. Una asigură focalizarea fasciculului de electroni, alte două, dintre care una are spirele orientate orizontal, iar alta vertical, asigură deflexia fasciculului. Prima pereche deviază electronii la stînga și la dreapta, cea de a doua îi deviază în sus și în jos.



Prin intermediul cîmpurilor magnetice pe care le produc, bobinele asigură deflexia fasciculului de electroni.

Pînă nu demult, unghiul de deflexie nu depășea 45 de grade față de ax, astfel încît deviația totală a fasciculului era de 90 de grade. Astăzi se realizează tuburi cu deflexia totală de 110 grade. Datorită acestui fapt, lungimea tuburilor a scăzut, iar televizoarele au o adîncime mai mică, deci dimensiuni mai reduse.



Datorită deflexiei de 110° tubul este mai scurt decît în cazul deflexiei de 90°.

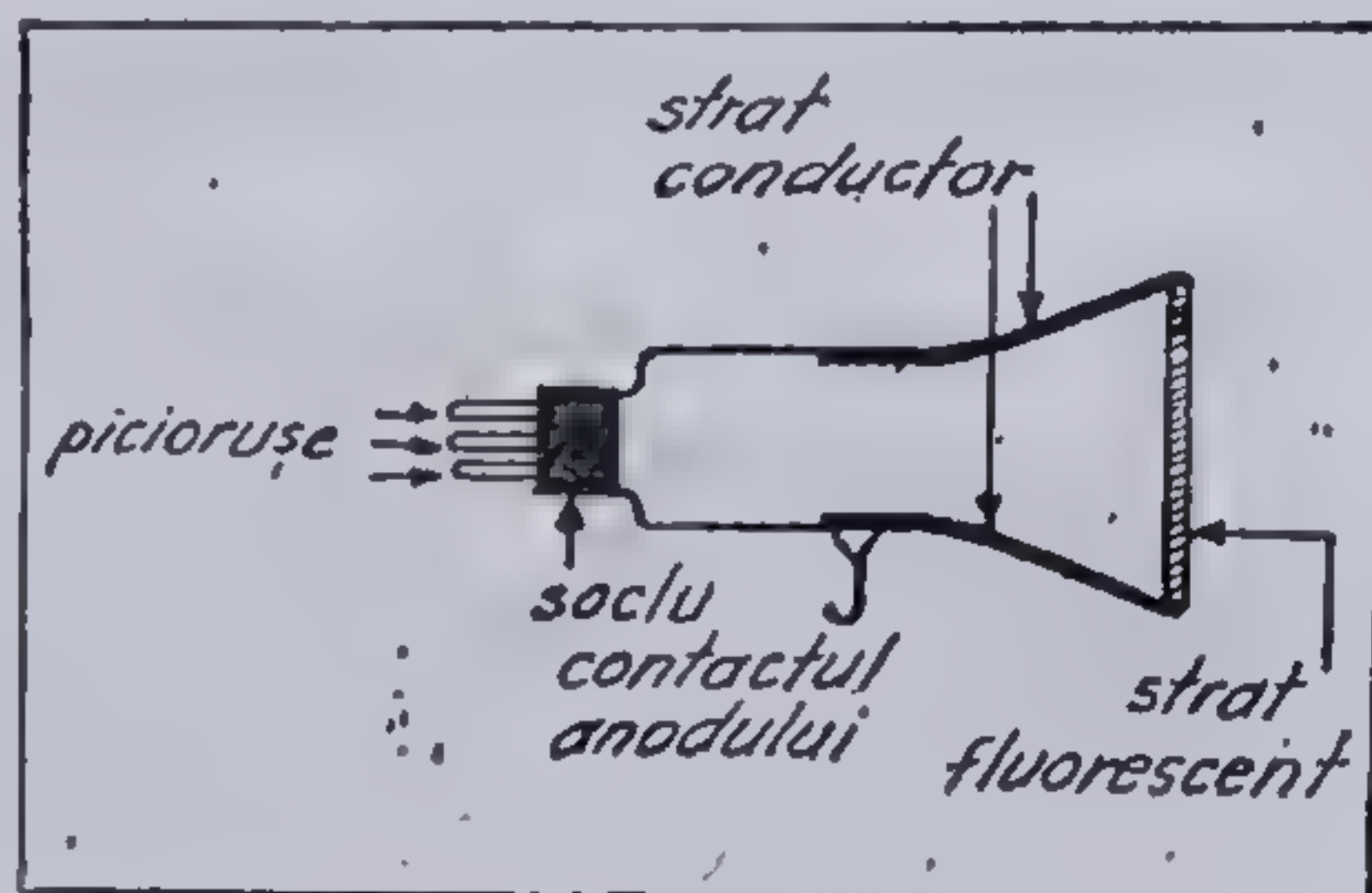
INTOARCEREA FASCICULULUI

Te întrebi probabil unde trebuie să ajungă pînă la urmă electronii, după ce s-au lovit de stratul fluorescent de pe ecran. Trebuie să știi că șocul loviturilor provoacă emiterea de electroni secundari.

Toți acești electroni primari și secundari nu trebuie să fie lăsați să se acumuleze pe ecran, căci ei ar constitui o sarcină negativă care ar respinge ceilalți electroni emiși de tunul electronic.

Pentru a evita acumularea electronilor, se acoperă fața interioară a tubului cu un strat conductor care se întinde de la ecran pînă la anod. În consecință, electronii de pe stratul fluorescent sînt absorbiți de anod, care îi atrage cu putere datorită potențialului său foarte pozitiv.

Dispunerea stratului conductor care transportă electronii primari și secundari de la ecran către anod.



Datorită acestui potențial foarte ridicat, contactul anodului iese din tub într-un punct lateral, în timp ce toți ceilalți electrozi sînt legați la piciorușele soclului aflat la extremitatea opusă ecranului.

EXISTĂ PERICOLUL DE EXPLOZIE ?

Te întrebi fără îndoială, care este presiunea pe care o exercită atmosfera asupra acestor tuburi mari cu vid, pe care apare imaginea în televizoare. După cum știi, la nivelul solului, presiunea atmosferică este de 1 kilogram pe fiecare centimetru pătrat. Suprafața ecranului a cărui diagonală măsoară 59 cm este de aproximativ 1 500 cm². Rezultă că aerul presează pe ecran cu 1 500 kg, adică cu o tonă și jumătate. Dacă vom ține

seamă și de restul suprafețelor tubului, adică de partea conică și de partea cilindrică, putem spune că tubul suportă o presiune globală care depășește 4 tone.

Presiunea înaltă este suportată mai ușor de părțile care ies în relief, decât de cele plate. Din această cauză se fabricau pînă de curînd tuburi catodice cu ecranul bombat. Astăzi, tuburile sînt suficient de robuste pentru a putea rezista presiunii aerului, chiar dacă au ecranul plat.

Deci, riscul *imploziei* este aproape anulat. Folosesc termenul „implozie” și nu „explozie” pentru că această din urmă noțiune se referă numai la cazurile în care presiunea apasă din interior către exterior. Ori, dacă se sparge un tub cu vid, cioburile sînt proiectate spre interior.

În televizoarele mai vechi, se așeza în fața ecranului un geam gros pentru protecție. Astăzi s-a renunțat la el.

ECRANUL PLAT AL VIITORULUI

Tu, Ignotus, ești tînăr. Ai tot viitorul în față și vei avea prilejul să vezi cum vor evolua, în anii care urmează, toate domeniile electronicii. În ceea ce privește televiziunea, va veni cu siguranță o zi cînd tubul catodic din receptor va fi înlocuit cu un ecran plat. Acesta va fi agățat pe perete ca orice tablou și, grație microminiaturizării, toate circuitele sale se vor afla în rama tabloului.

Această evoluție a televizoarelor a fost prezisă, înainte de jumătatea secolului nostru, de ziaristul Hugo Gernsback un pionier al publicisticii radiofonice. Toate „proorociile” acestui american de origine luxemburgheză s-au îndeplinit. Perfecționarea semiconductoarelor va permite cu siguranță să se realizeze ecranul plat care va înlocui tubul catodic.

Circuitele integrate vor contribui la reducerea pînă la dimensiuni foarte mici a spațiului ocupat de numeroasele circuite din televizor. Ele sînt de pe acum foarte răspîndite.

În sfîrșit, deși butoanele de comandă vor putea fi așezate pe rama ecranului, este probabil că reglajele vor fi efectuate de la distanță, prin telecomandă.

Telespectatorul va putea să treacă de pe un canal pe altul, să modifice contrastul, luminozitatea sau volumul sunetului, fără să se miște din fotoliu. În acest scop, el va folosi o cutie de dimensiuni mici, care va emite unde electromagnetice sau

TUBUL CATODIC

ultrasunete. Ele vor fi recepționate de televizorul de pe perete și vor comanda efectuarea reglajelor dorite. Există de pe acum astfel de dispozitive, dar răspunderea lor este deocamdată redusă...

Să părăsim acum viitorul și să revenim la prezent. Îi las lui Curiosus sarcina să-ți explice modul în care sînt utilizate tuburile catodice, atît la realizarea emisiunilor de televiziune, cît și la recepție.

Convorbirea a 16-a

Baze de timp

Care este forma curenților care asigură deflexia fasciculului electronic? Cum se generează acești curenți? Cum sînt sincronizați curenții de deflexie din receptorul de televiziune, cu cei de la emisie? Toate aceste chestiuni sînt dezbătute în convorbirea care urmează.

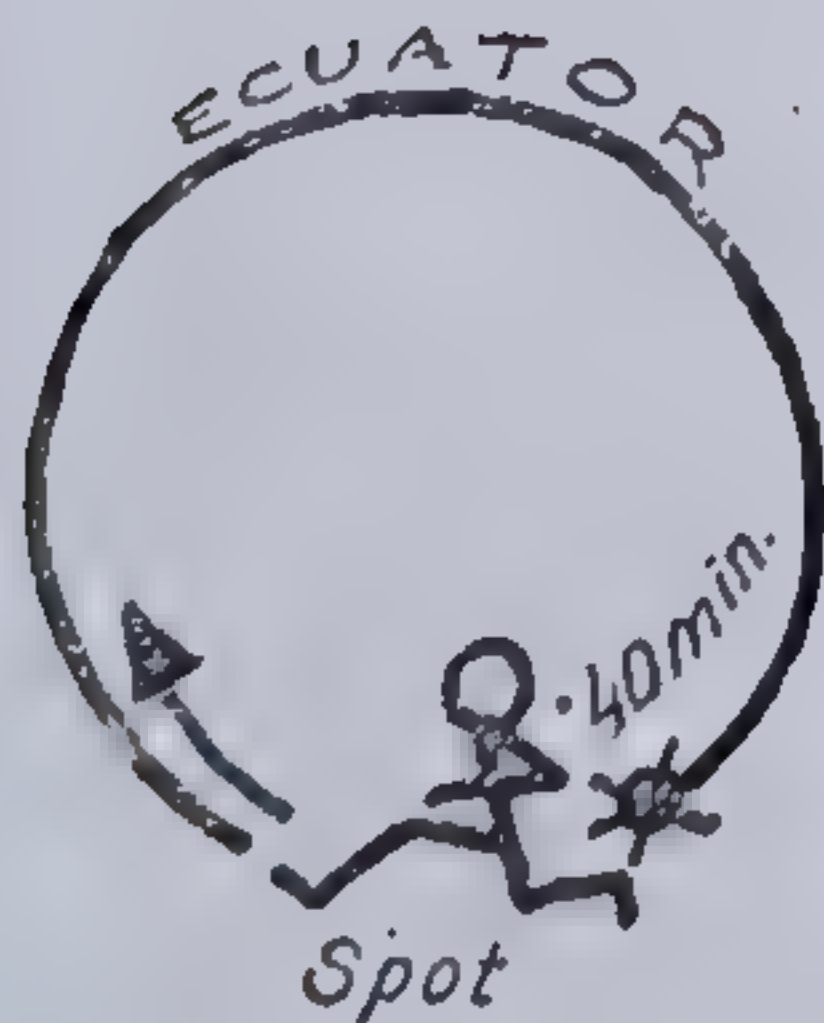
DEFLEXIA ȘI DINȚII DE FIERĂSTRĂU

IGNOTUS : Datorită explicațiilor pe care mi le-a dat unchiul tău, cunosc structura tuburilor catodice utilizate în televizoare. Mă întreb însă, cum arată curenții care străbat bobinele de deflexie și care silesc spotul să parcurgă toate liniile care alcătuiesc imaginea.

Am făcut un mic calcul. Ecranul televizorului nostru de acasă are lățimea de 50 cm. Deci, pentru explorarea fiecărei linii și pentru întoarcerea la începutul liniei următoare, spotul străbate 1 metru. Pentru 625 de linii explorate de 25 de ori pe secundă, spotul va parcurge 15 625 de metri. Cu această viteză, spotul nostru ar înconjura ecuatorul în 40 de minute.

CURIOSUS : Tu ai luat în considerație, în calcul, viteza medie a spotului. În realitate, spotul are o viteză mai redusă atunci cînd are sarcina să redea, printr-o strălucire mai mare sau mai mică, elementele succesive ale unei linii. Dar, odată linia parcursă, spotul se îndreaptă spre începutul liniei următoare cu o viteză de 10 ori mai mare.

IGNOTUS : Înseamnă că, la întoarcere, viteza lui este de 150 de kilometri pe secundă. Formidabil ! Cu această viteză spotul poate ajunge în 40 de minute pînă la lună. Dar să revenim pe pămînt. Care trebuie să fie forma curenților care, străbătînd bobinele de deflexie, pot asigura o deplasare cu viteză

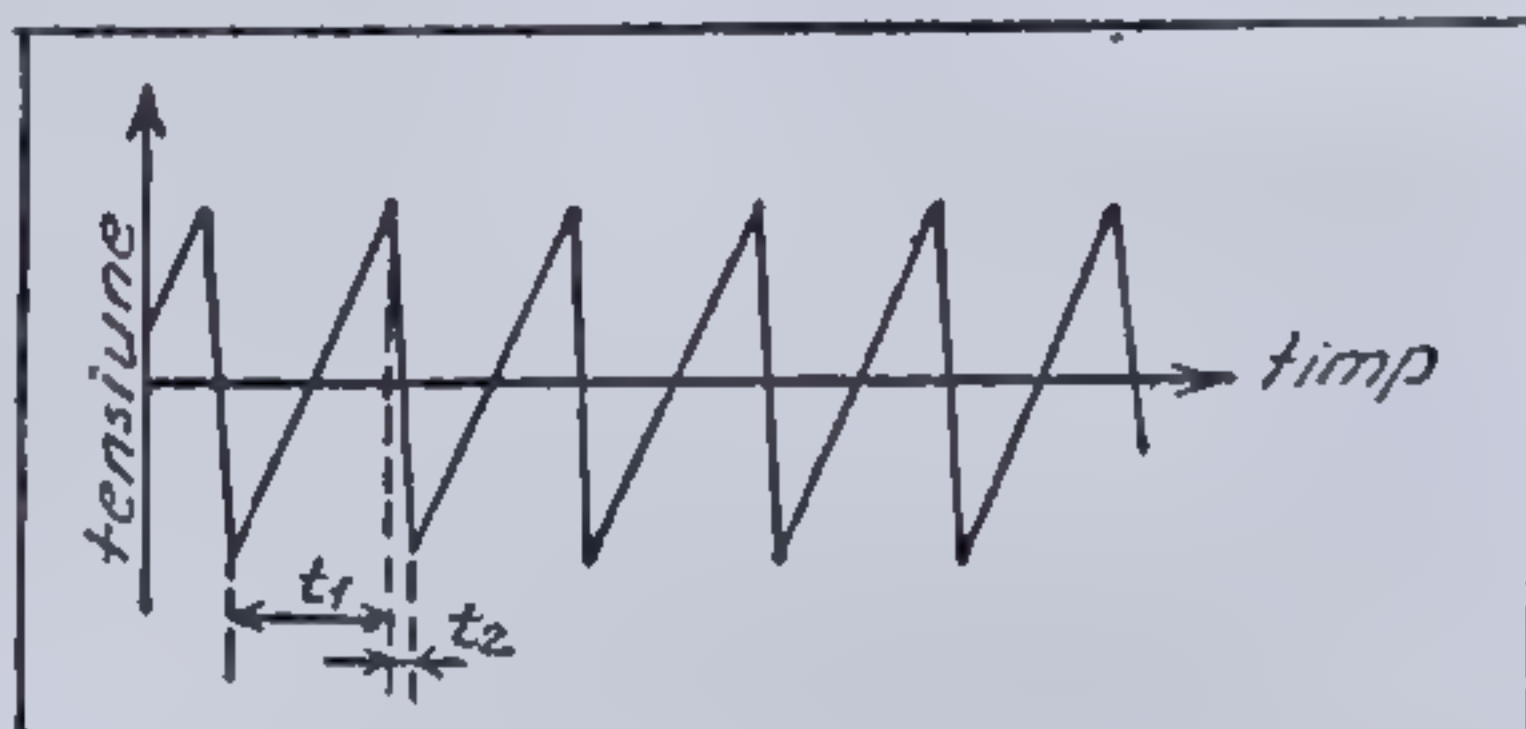


constantă în timpul cursei directe, urmată de o întoarcere atât de rapidă a spotului? Iar dacă deflexia se face electrostatic, care trebuie să fie forma tensiunilor aplicate pe plăcile de deflexie?

CURIOSUS: În ambele cazuri, este nevoie de un curent (sau de o tensiune) linear crescătoare, cu alte cuvinte, cu o creștere proporțională cu timpul. Apoi, curentul (sau tensiunea) trebuie să revină foarte rapid la valoarea sa inițială. În figura alăturată, explorarea liniei se face în intervalul de timp t_1 , iar întoarcerea, în intervalul t_2 .



Forma tensiunilor aplicate pe plăcile de deflexie. Durata t_1 a liniei este mult mai mare decât durata t_2 a întoarcerii.



IGNOTUS: Aș zice că forma acestei tensiuni seamănă cu dinții unui fierăstrău.

CURIOSUS: Acesta este și motivul pentru care folosim termenul de tensiuni sau curenți în dinți de fierăstrău.

SCHEMA FUNDAMENTALĂ

IGNOTUS: Cum se pot genera curenții sau tensiunile de această formă, pornind de la o sursă de tensiune continuă?

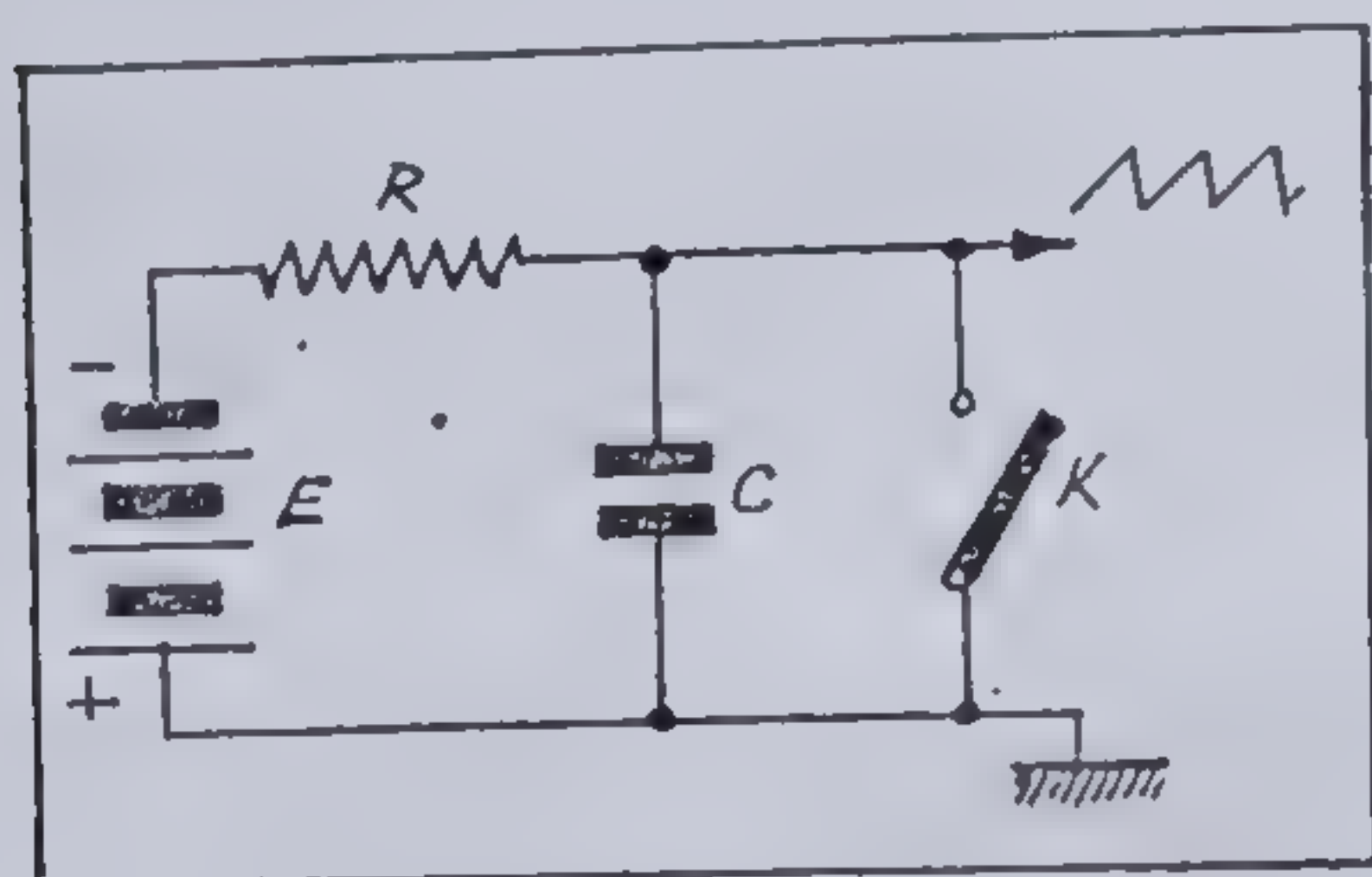
CURIOSUS: Există numeroase circuite, mai mult sau mai puțin complicate, care permit să se obțină dinții de fierăstrău. Toate au același principiu: încărcarea progresivă a unui condensator, urmată de descărcarea sa bruscă printr-un scurt-circuit.

IGNOTUS: Văd pe schema ta, că forța electromotoare E încarcă condensatorul C printr-o rezistență R . După câte știu, rezistența încetinește încărcarea condensatorului.

CURIOSUS: Viteza de încărcare este cu atât mai mică, cu cât sînt mai mari valorile rezistenței R și a condensatorului C . Rezistența se opune trecerii curentului, cu atât mai mult cu cât valoarea ei este mai mare. Pe de altă parte, o capacitate mai mare conduce la creșterea numărului de electroni care trebuie să fie extrași din armătura pozitivă și injectați în armătura negativă.



Iată de ce, în calcul se ia în considerație produsul RC pe care îl numim *constantă de timp*.



Tensiunile în dinți de fierăstrău se obțin datorită încărcării condensatorului C prin rezistența R , urmată de descărcarea lui C prin contactul K .

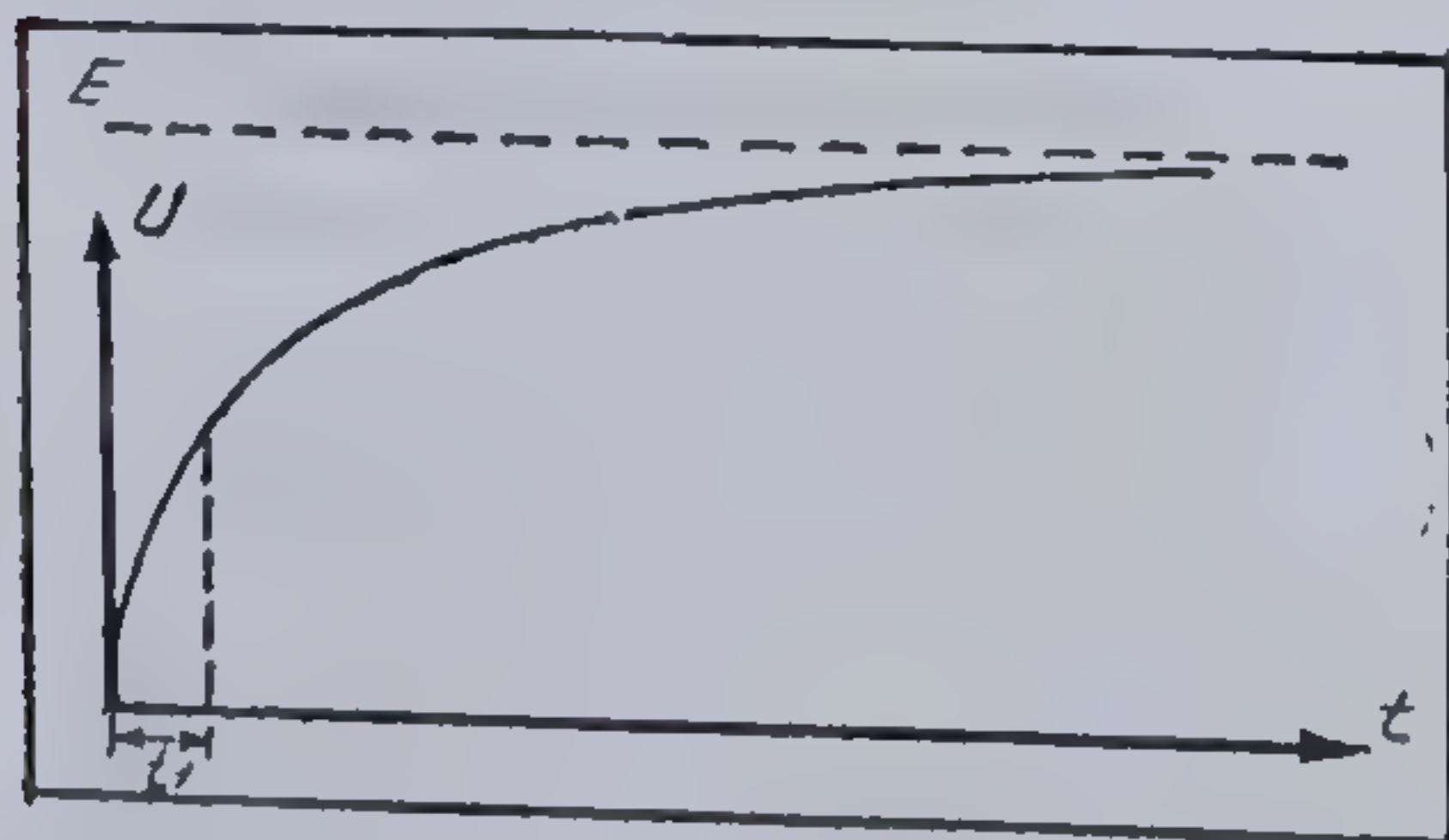
IGNOTUS : Probabil că după fiecare linie se închide întreruptorul K și astfel condensatorul se descarcă rapid. Desigur că pentru explorarea cîmpurilor se folosește același procedeu, cu deosebirea că frecvența de repetiție a dinților de fierăstrău este de 50 Hz.

CURIOSUS : Așa este. Și cred că îți dai seama că în generatoarele de dinți de fierăstrău nu se folosesc întreruptoare mecanice. Rolul de întreruptor este atribuit unor tuburi electronice cu vid sau cu gaz, sau unor semiconductoare.

Înainte de a aborda problema generării acestor semnale, să examinăm forma tensiunilor care apar în schema noastră, la bornele condensatorului.

CURBE EXPONENȚIALE

IGNOTUS : Parcă spuneai că pentru a obține dinții de fierăstrău este necesară o variație lineară a tensiunii...



Această curbă exponențială reprezintă evoluția tensiunii V de la bornele unui condensator, încărcat de sursa de tensiune E , printr-o rezistență. Pentru baleiaj se folosește doar o mică porțiune t_1 din curbă, care poate fi asimilată cu un segment de dreaptă.

CURIOSUS : Într-adevăr, ceea ce vrem să obținem, pînă la urmă, este o tensiune care variază linear. Din păcate însă, în-

cărcarea condensatorului prin rezistență nu are forma pe care o dorim. La început curentul crește rapid, dar pe măsură ce condensatorul se încarcă și tensiunea dintre armăturile lui crește, se reduce diferența dintre forța electromotoare E și tensiunea pe condensator. Cu alte cuvinte, diferența de potențial dintre extremitățile rezistenței R scade și, în conformitate cu legea lui Ohm, intensitatea curentului prin rezistență se reduce în aceeași proporție.

IGNOTUS : Dar în felul acesta procesul nu se termină niciodată. Cu cât este mai încărcat condensatorul, cu atât se face mai încet încărcarea în continuare.

CURIOSUS : Teoretic, durata procesului este infinită. Curba care reprezintă încărcarea în funcție de timp poartă numele de *exponențială*, deoarece valoarea v a tensiunii pe armăturile condensatorului după un timp t se obține dintr-o relație în care variabila t se află la exponent :

$$v = E \left(1 - \frac{1}{e^{t/RC}} \right)$$

În această formulă e este baza logaritmilor naturali și are aproximativ valoarea $e = 2,718281828...$

IGNOTUS : Deși nu sînt prea tare la matematică, am reușit să observ că după timpul $t = RC$, adică după o durată egală cu constanta de timp, tensiunea v ajunge la aproximativ $2/3$ din valoarea E .

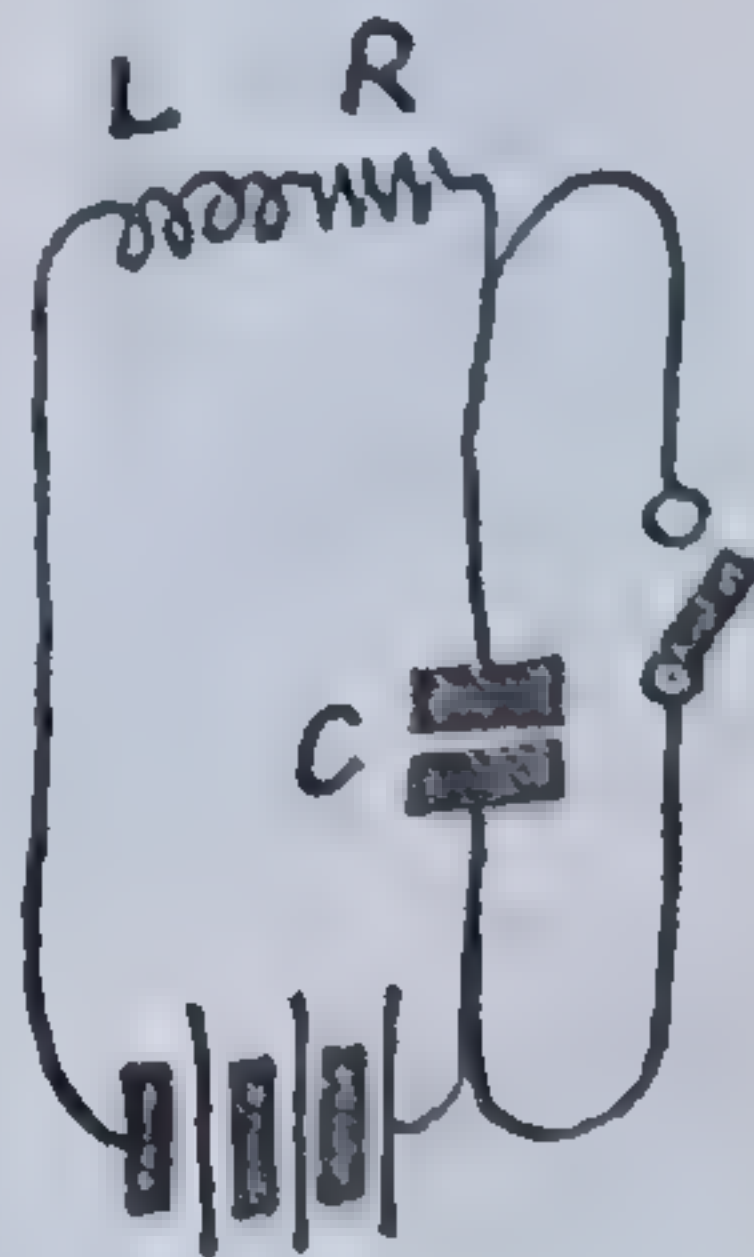
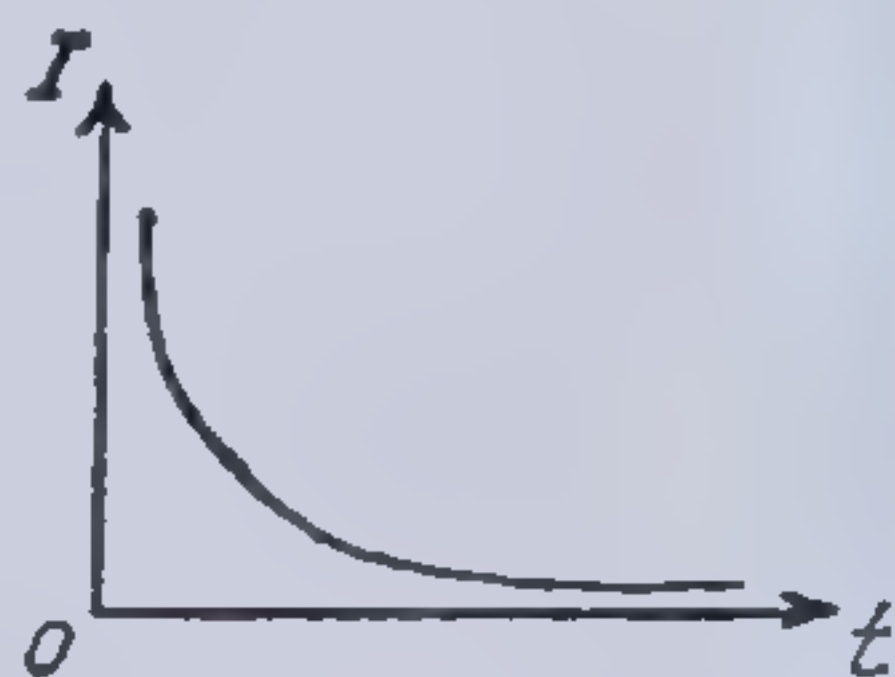
CURIOSUS : Bravo, Ignotus ! Dacă vei continua calculele, vei afla că după fiecare constantă de timp, tensiunea crește cu două treimi din diferența dintre forța electromotoare E și valoarea precedentă a tensiunii.

IGNOTUS : Este deci o creștere din ce în ce mai lentă, care nu se termină niciodată, căci tensiunea pe condensator nu ajunge niciodată la valoarea E . Dar cum poate fi modificată forma acestei curbe pentru a se obține o dreaptă ?

CURIOSUS : Curba poate deveni mai puțin... curbă, dacă se leagă în serie cu R o inductanță. Dar în practică nu se procedează așa. Pur și simplu, se utilizează numai porțiunea inițială a curbei, care este aproape dreaptă.

AȚIUNEA SEMNALULUI DE SINCRONIZARE

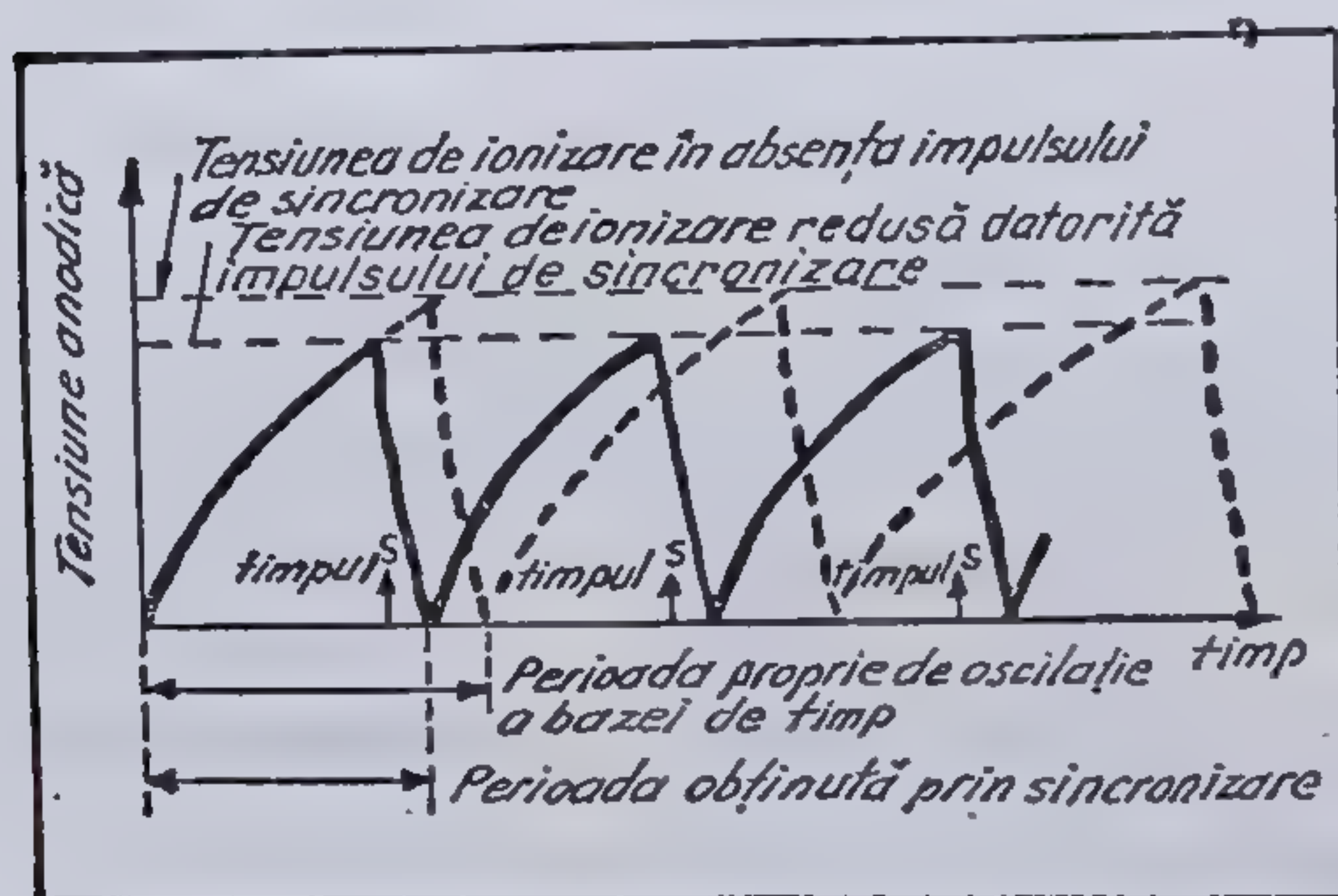
IGNOTUS : Spune-mi, cine declanșează descărcarea rapidă a condensatorului, comandînd prin aceasta întoarcerea spotului la începutul unei linii sau al unui cîmp ?



CURIOSUS : Semnalul de sincronizare, care este introdus la emisie după fiecare linie și după fiecare cîmp. Acest semnal produce o creștere bruscă a rezistenței unui tub sau a unui element semiconductor legat în paralel pe condensator.

Schema circuitului este astfel concepută încît această creștere bruscă de rezistență să se producă periodic, cu o frecvență puțin mai mică decît frecvența liniilor sau a cîmpurilor.

În acest fel, semnalul de sincronizare declanșează un fenomen care s-ar fi produs oricum, puțin mai tîrziu.



Sincronizarea unei baze de timp. Ajunse pe grilă, impulsurile pozitive declanșează descărcarea mai devreme.

IGNOTUS : Toate acestea îmi amintesc de un film pe care l-am văzut aseară la televizor. Un băiat se pregătea să sărute o fată, care și-a apropiat fața de fața lui și în acest fel s-au sărutat mai repede...

Acum poți să-mi explici cum se produce creșterea bruscă de tensiune pe un tub ?

IONIZAREA ÎN TIRATRON

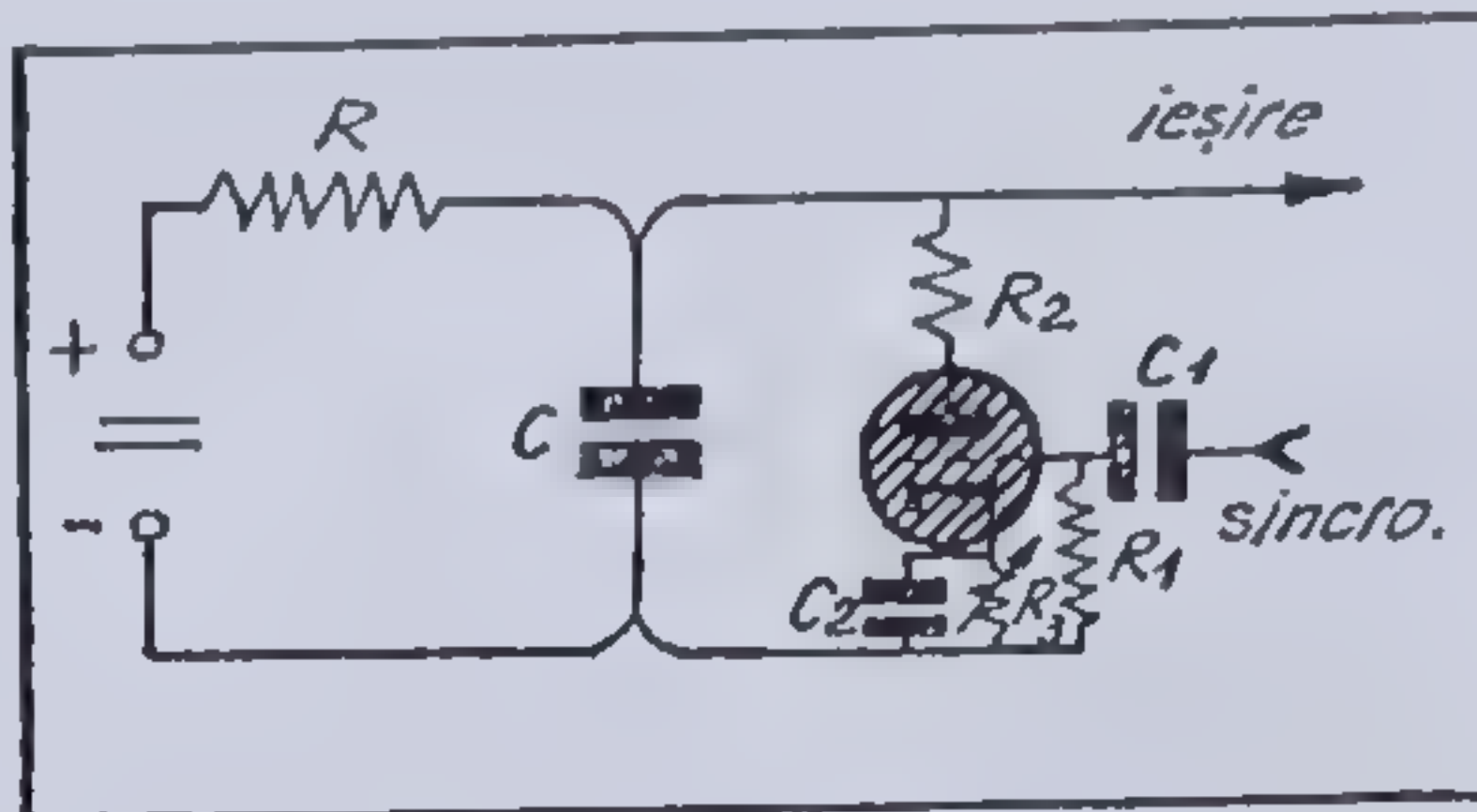
CURIOSUS : Iată o schemă pe care este figurată o triodă hașurată. Tubul reprezentat în acest fel nu este un tub cu vid. El conține un gaz neutru cum ar fi neonul, argonul sau heliul, la o presiune redusă. Un astfel de tub se numește *tiratron*.

După cum vezi, spațiul catod-anod al acestui tub este legat în derivație pe condensatorul C care se încarcă prin rezistența R .

IGNOTUS : Văd că în serie cu acest spațiu catod-anod mai sînt legate și două rezistențe. Probabil că rezistența variabilă R_s are rolul de a aduce grila, ca și în alte circuite cu tuburi pe care



Generator de curent în dinți de fierăstrău, realizat cu tiratron.



mi le-ai arătat, la un potențial negativ față de catod. Dar la ce servește R_2 ?

CURIOSUS : Rezistența R_2 este de numai câteva sute de ohmi. Ea are rolul de a limita intensitatea curentului care se descarcă prin tiratron. În lipsa acestei rezistențe, ar exista pericolul ca tiratronul să fie distrus.

IGNOTUS : Nu văd, totuși, cine declanșează descărcarea.

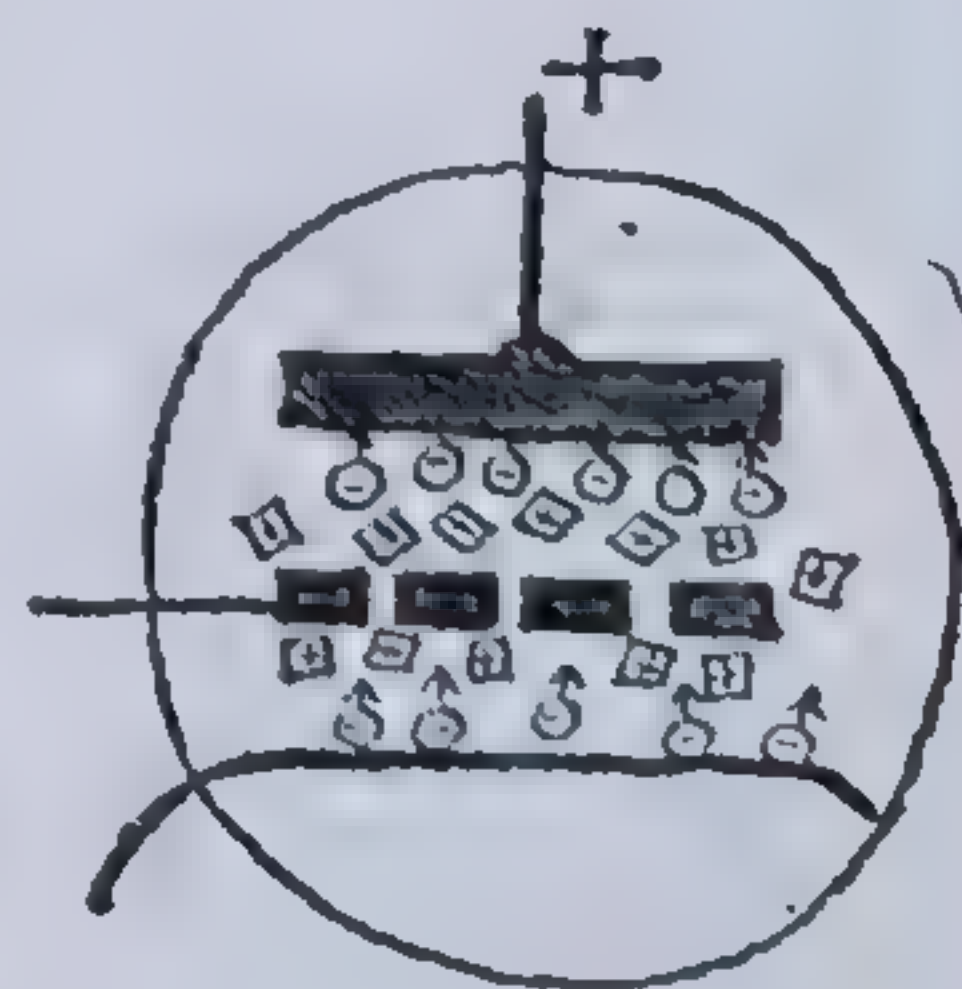
CURIOSUS : Descărcarea este declanșată de ionizarea gazului din tub. În momentul în care sarcina condensatorului C ridică tensiunea anodică pînă la o anumită valoare, electronii atrași dinspre catod spre anod ating o viteză destul de mare pentru a putea sfărîma moleculele de gaz. Fiecare moleculă se separă într-un anumit număr de electroni și de ioni pozitivi. Ia naștere un curent foarte mare produs de electronii atrași spre anod și de ioni pozitivi care se îndreaptă spre grilă, atrași de potențialul ei negativ.

IGNOTUS : Presupun că, în momentul respectiv, rezistența tubului devine aproape nulă și că, din această cauză, condensatorul C se descarcă. Iar atunci cînd tensiunea anodică scade, ca urmare a descărcării condensatorului, ionizarea încetează și procesul reîncepe.

CURIOSUS : Chiar așa se petrec lucrurile. Trebuie să vedem însă, care este rolul grilei în toată această operație. Valoarea tensiunii anodice la care se declanșează ionizarea depinde de potențialul grilei. Electronii trec cu atît mai ușor de la catod la anod și viteza lor este cu atît mai mare, pentru aceeași valoare a tensiunii anodice, cu cît grila este mai puțin negativă. În consecință, dacă scade negativarea, ionizarea care depinde de viteza electronilor se produce la o valoare mai mică a tensiunii anodice.

IGNOTUS : Trag concluzia că, modificînd rezistența R_3 care determină valoarea negativării, putem regla valoarea tensiunii anodice care declanșează ionizarea. De fapt, prin această operație, stabilim o anumită durată pentru încărcarea condensatorului C .

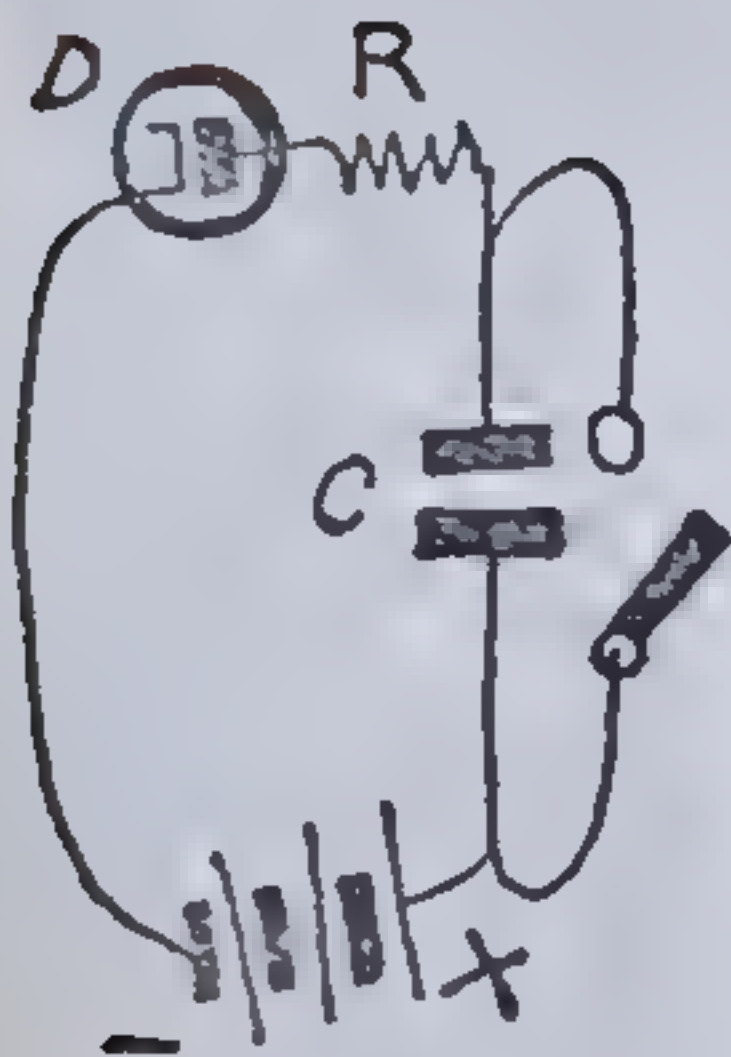
CURIOSUS : Spune-mi Ignotus, nu cumva ai acumulat fosfor în ultimele zile, mîncînd mult pește ? Văd că înțelegi totul



cu ușurință, ideile tale sînt logice și inteligente... Prin urmare, modificînd valoarea rezistenței R_3 , reglăm durata încărcării condensatorului C . Vreau să-ți atrag acum atenția asupra faptului că pe grilă se aplică, prin condensatorul C_3 , impulsurile de sincronizare. Ele au o durată foarte mică și tind să modifice potențialul grilei, făcîndu-l mai pozitiv.

IGNOTUS : Avînd în vedere explicațiile tale, cred că aceste impulsuri ajung pe grilă, cu foarte puțin timp înainte de a se produce ionizarea în tiratron, ca urmare a atingerii tensiunii anodice care declanșează procesul. Reducînd negativarea grilei, impulsurile reduc valoarea tensiunii anodice, capabilă să ionizeze gazul. În acest fel fenomenul este declanșat instantaneu de impulsul de sincronizare. Am spus cumva vreo prostie ?

BINEFACERILE SATURAȚIEI



CURIOSUS : Deloc. Fosforul tău își demonstrează eficiența... Vei înțelege deci cu ușurință că putem obține un curent de deflexie cu o formă practic lineară, înlocuind rezistența de încărcare R printr-un dispozitiv care asigură trecerea unui curent de intensitate constantă.

IGNOTUS : Nu văd despre ce dispozitiv ar fi vorba.

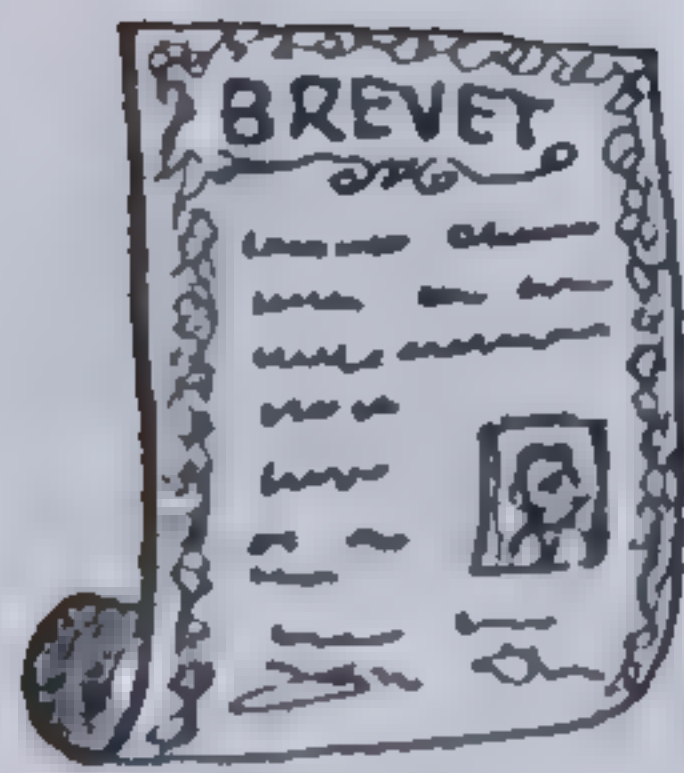
CURIOSUS : Pur și simplu despre o diodă care funcționează în regim de saturație. Dacă dioda este tub electronic, ar fi de preferat să se utilizeze un tub cu încălzire directă. Reglînd tensiunea de filament, limităm numărul de electroni emiși — adică intensitatea maximă a curentului — la valoarea dorită.

IGNOTUS : N-am putea să folosim în acest scop o pentodă cu grilă-ecran la un potențial suficient de ridicat pentru ca toți electronii să ajungă pe anod și, în acest fel, să menținem curentul constant ?

CURIOSUS : Nu încerca să-ți brevetezi ideea, căci este cunoscută și aplicată în unele tuburi de televizor.

IGNOTUS : Spune-mi, tuburile cu gaz reprezintă singura soluție pentru descărcarea rapidă a condensatoarelor ?

CURIOSUS : În televizoare, nu se mai folosesc de ani de zile tuburile cu gaz, pentru că au o viață scurtă. În locul lor s-au



introdus tuburile cu vid, iar astăzi toate bazele de timp sînt echipate cu tranzistoare.

IGNOTUS : Ce este baza de timp ?

CURIOSUS : Această denumire este atribuită circuitelor care generează tensiunile sau curenții în formă de dinți de fierăstrău, utilizate pentru devierea fasciculului în tuburile catodice.

Iată schema unei baze de timp realizată cu o triodă cu vid. Vei regăsi condensatorul C care se încarcă prin rezistența R și care se descarcă apoi, într-o clipă, prin triodă.

IGNOTUS : Dar văd că trioda este montată ca oscilator : curentul anodic induce, prin transformator, o tensiune în circuitul de grilă. Am presupus că bobinajele transformatorului sînt astfel cuplate, încît asigură o reacție pozitivă și nu una negativă.

CURIOSUS : Este adevărat. Acest oscilator generează însă oscilații care nu sînt sinusoidale. Cuplajul între bobinajul anodic și cel de grilă este foarte strîns.

Pe măsură ce condensatorul C se încarcă prin rezistența R_1 , tensiunea anodică crește, ceea ce duce la mărirea curentului anodic. Prin inducție, grila este din ce în ce mai puțin negativă și, la un moment dat, ajunge pozitivă.

În acest moment rezistența internă a triodei scade pînă la o valoare neglijabilă și condensatorul se descarcă prin spațiul catod-anod, devenit foarte bun conducător de electricitate.

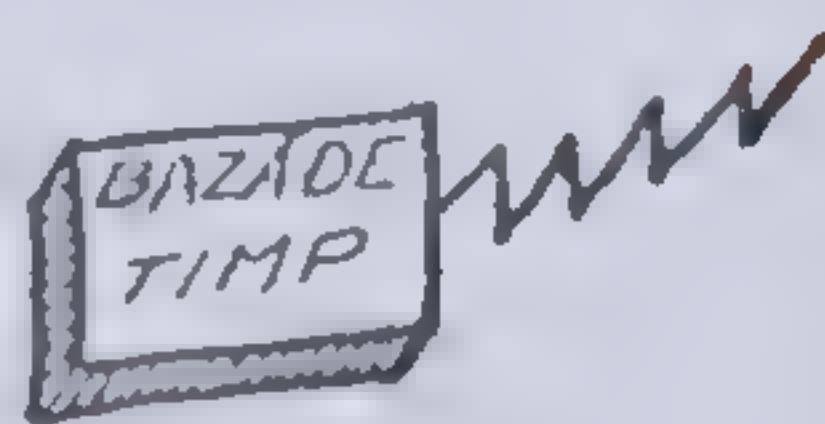
IGNOTUS : Cum se reîncarcă condensatorul, dacă este scurt-circuitat de triodă ?

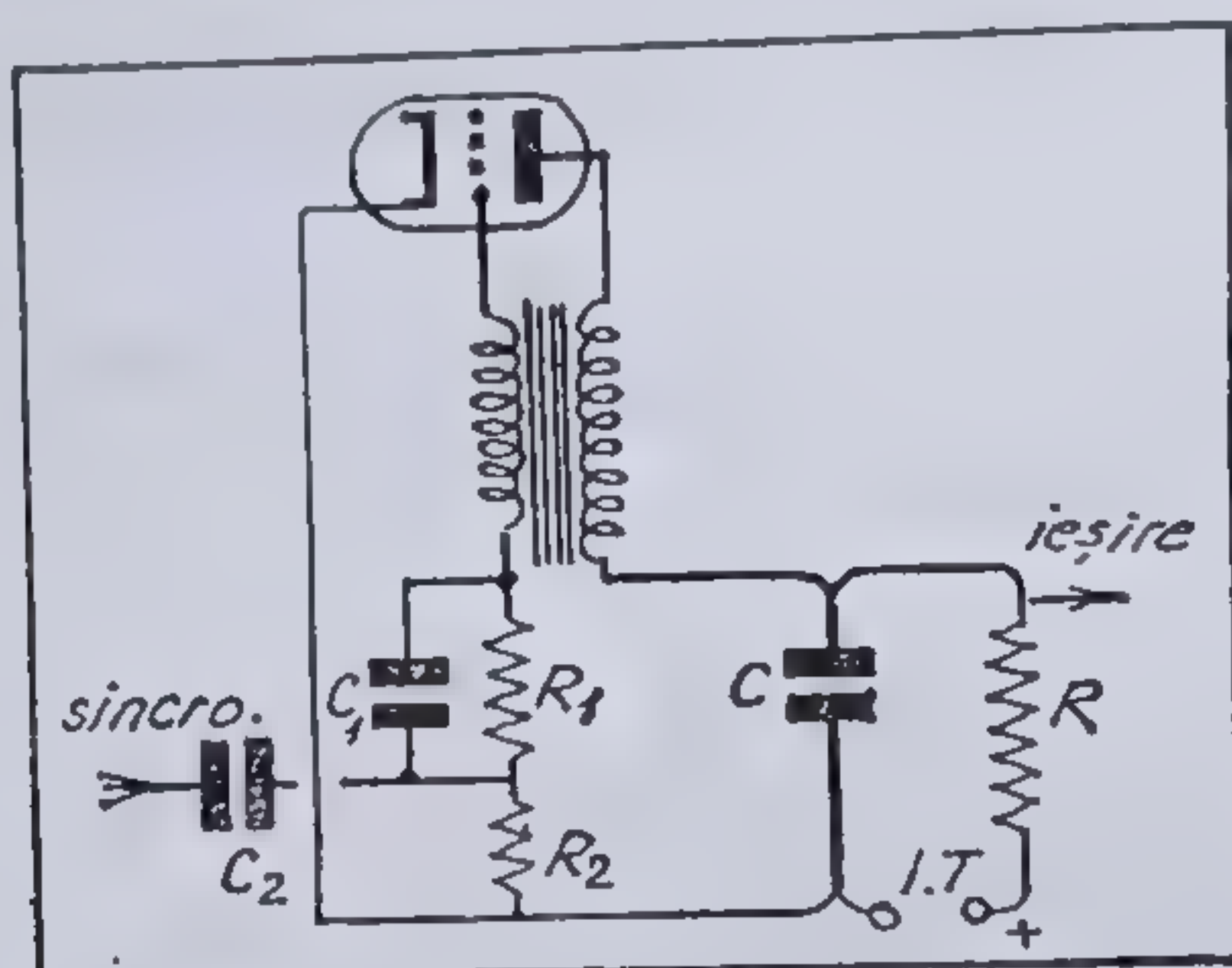
CURIOSUS : Gîndește-te la fenomenele care se produc cînd grila, ajunsă pozitivă, atrage o parte din electronii emiși de catod. Acești electroni încarcă condensatorul C_1 , astfel că grila își schimbă foarte curînd polarizarea și devine negativă. Negativarea crește atît de mult încît nu mai permite trecerea electronilor spre anod și curentul anodic este anulat. Trioda noastră s-a blocat. Iată de ce i s-a dat acestui circuit numele de *generator autoblocat*.

IGNOTUS : Bine, dar el se deblochează imediat, deoarece condensatorul C_1 se descarcă prin rezistența R_1 care este în derivație cu el.

CURIOSUS : Această descărcare se produce mai încet decît presupui tu, pentru că rezistența R_1 are o valoare foarte mare. Și, în timpul acestei descărcări condensatorul C se încarcă treptat, din nou.

IGNOTUS : Pînă la urmă, tensiunea pe acest condensator este în formă de dinți de fierăstrău. Ea crește progresiv pînă cînd produce scăderea bruscă a rezistenței interne a tubului, fapt care determină reducerea rapidă a tensiunii, după care procesul reîncepe.

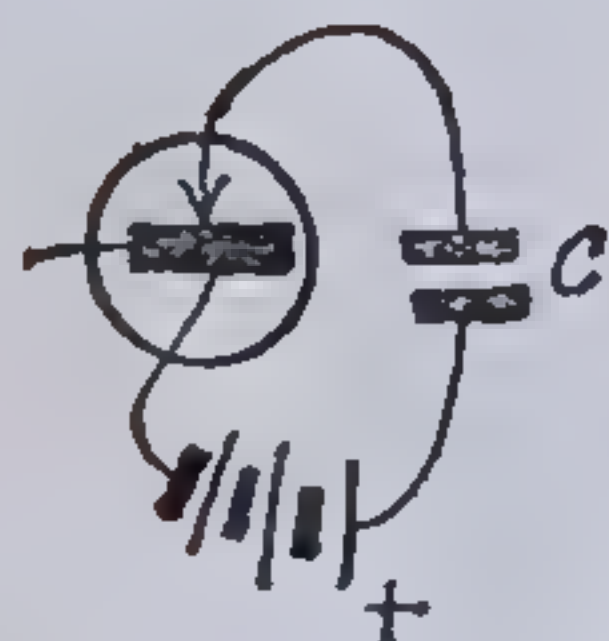




Bază de timp în care descărcarea condensatorului C se face prin triodă, atunci când pe grilă sosește un impuls de sincronizare.

CURIOSUS : Văd că ai înțeles funcționarea generatorului autoblocat. Te rog să observi că impulsurile de sincronizare ajung pe grilă prin condensatorul C_2 și produc salturi de tensiune de scurtă durată pe rezistența R_2 . Datorită lor, grila devine mai pozitivă. În acest fel, scăderea rezistenței interne a triodei se produce cu puțin înainte de momentul în care ar fi avut loc fenomenul, în absența impulsurilor de sincronizare.

IGNOTUS : Constat că și aici se aplică principiul conform căruia perioada proprie a dintelui de fierăstrău este cu puțin mai mare decât cea a impulsurilor... Dar nu s-ar putea construi un generator autoblocat în care să înlocuim tubul electronic cu un tranzistor ?

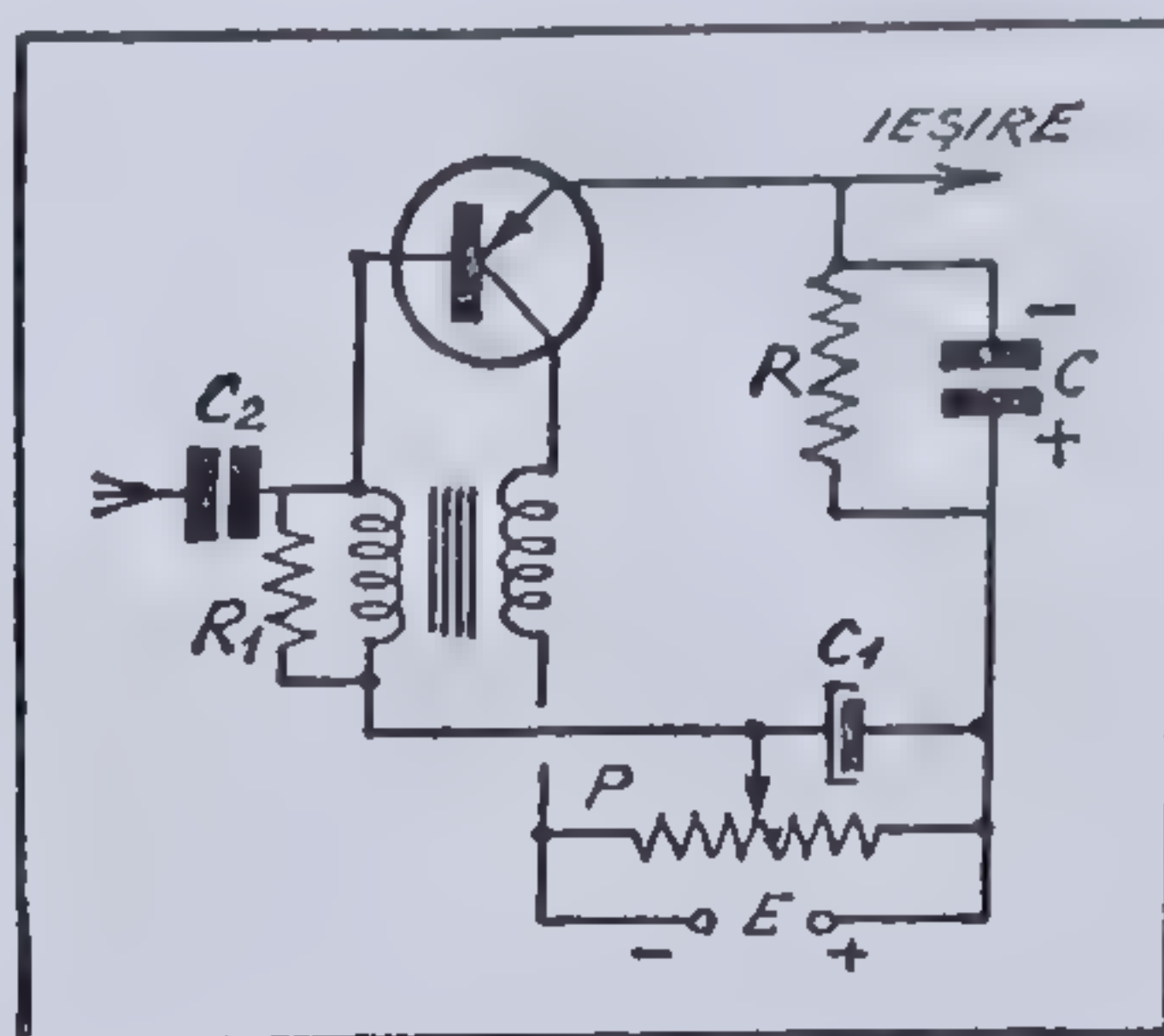


GENERATORUL AUTOBLOCAT CU TRANZISTOR

CURIOSUS : Bine înțeles. Iată schema circuitului cu tranzistor. După cum vezi, condensatorul C se încarcă prin tranzistor. Dar, spre deosebire de schemele pe care ți le-am arătat pînă acum, porțiunea mai lungă, oblică a dintelui de fierăstrău este produsă de descărcarea condensatorului ; în schimb încărcarea se face aproape instantaneu și determină, în consecință, întoarcerea rapidă a spotului la începutul liniei sau cîmpului următor.

IGNOTUS : Cred că descărcarea relativ lentă se produce atunci cînd tranzistorul este blocat ; în acest timp condensatorul C se descarcă prin rezistența R . Cît despre încărcarea rapidă, cred că ea se produce atunci cînd baza tranzistorului devine negativă, din care cauză de la emitor la colector circulă un curent de saturație. Mă refer, bine înțeles, la sensul convențional al curentului... Dar cum se produce în acest caz blocarea și apoi saturația tranzistorului ?

În generatorul autoblocat se poate utiliza, în locul tubului, un tranzistor.



CURIOSUS : Să analizăm fenomenul, începînd din momentul în care condensatorul C este încărcat. În acel moment, armătura legată la emitor este negativă și deci tranzistorul este blocat.

După cum vezi, potențialul bazei este reglat cu ajutorul potențimetrului P astfel încît blocarea să fie sigură. Modificarea acestui potențial nu se face prea ușor, căci condensatorul de decuplare C_1 este electrolitic și are o capacitate mare.

După un timp destul de mare de la începerea descărcării condensatorului, potențialul emitorului devine suficient de pozitiv și prin tranzistor începe să treacă un curent. Ajungînd în bobinajul legat la colector, acest curent induce în bobinajul conectat la bază, o tensiune care aduce baza la un potențial mai negativ.

IGNOTUS : Am înțeles. În continuare, cu cît baza devine mai negativă cu atît crește curentul în colector. La rîndul lui, curentul induce prin transformator o tensiune care negativează și mai mult baza... Această succesiune de fenomene se petrece, fără îndoială, foarte repede, astfel încît curentul tranzistorului ajunge foarte curînd la saturație, iar condensatorul C se încarcă aproape instantaneu. Apoi, totul reîncepe.

CURIOSUS : După felul în care judeci, deduc că ai acumulat o mare cantitate de fosfor... Observi că, reglînd cu ajutorul potențimetrului P potențialul bazei, stabilim perioada de încărcare și de descărcare a condensatorului C . Această perioadă trebuie să fie puțin mai mare decît intervalul dintre impulsurile de sincronizare care sînt aplicate prin C_2 pe bază. Aceste impulsuri sînt negative și declanșează saturația tranzistorului.

Există și alte scheme de baze de timp. Din lipsă de timp, nu ți le voi descrie. Esențial este să reții că dinții de fierăstrău sînt produși întotdeauna prin încărcarea și descărcarea unui condensator. Cred că ți-am încărcat destul memoria, așa că odihnește-te.



Profesorul Radiol trece în revistă diverse

Tuburi analizoare

Prin ce mijloc sînt transformate imaginile luminoase din studiourile de televiziune în semnale electrice? Radiol dă explicații, descriind întîi iconoscopul, acest strămoș al tuburilor analizoare și apoi alte tuburi care se bazează pe utilizarea substanțelor fotoemisive sau fotoconductive.

Îți amintești desigur, dragul meu Ignotus, cum funcționează tubul catodic, despre care îți spuneam că este utilizat atît în receptoarele de televiziune cît și în studiouri.

În ambele cazuri este necesar ca fasciculul de electroni să fie focalizat și deviat pe orizontală și pe verticală pentru a se asigura explorarea liniilor și cîmpurilor.

Bineînțeles că deviația fasciculului se face, în cele două cazuri, cu scopuri complet diferite: în timp ce, în receptoare, fasciculul produce luminescența ecranului, strălucirea fiecărui element fiind proporțională cu intensitatea fasciculului de electroni, în *tubul analizor* montat în camera de televiziune, fasciculul se deplasează pe un ecran pe care este proiectată imaginea și determină variația semnalului electric în funcție de luminozitatea elementelor explorate.

CE CALITĂȚI TREBUIE SĂ AIBĂ TUBUL ANALIZOR ?

Calitățile ce sînt impuse tuburilor analizoare (se folosește adesea și termenul „*tuburi videocaptoare*”) nu sînt deloc ușor de realizat. Sensibilitatea lor trebuie să fie foarte mare, cu alte cuvinte este necesar ca ele să poată transmite imagini slab luminate. La ieșirea lor trebuie să se obțină curenți proporționali

cu o gamă foarte mare de străluciri, deci saturația acestor tuburi trebuie să se producă doar la luminozități foarte mari, iar pînă în zona de saturație, curba care reprezintă variația semnalului video în funcție de strălucirea elementului explorat, trebuie să fie cît mai dreaptă cu putință.

Pe de altă parte, este necesar ca semnalul video să varieze la fel de rapid ca strălucirea elementelor explorate succesiv. În plus, dacă strălucirea unui anumit element se modifică, ceea ce se întîmplă frecvent în captarea imaginilor în mișcare, trebuie ca la următoarea explorare a acestui element (adică după 1/25 secunde) semnalul să varieze în aceeași proporție.

După cum vezi, tubului analizor i se impun destul de multe condiții. Evident că mai este necesar ca tubul să nu fie prea mare, să funcționeze un timp îndelungat fără să i se modifice caracteristicile și, în același timp, exploatarea lui să fie simplă.

Să vedem acum, în ce fel pot fi satisfăcute toate aceste condiții.

FOTOEMISIE ȘI FOTOCONDUCTIBILITATE

Pentru a transforma strălucirea în curent electric, putem utiliza substanțe *fotoemisive* sau substanțe *fotoconductive*. Cele dintîi emit electroni atunci cînd sînt supuse acțiunii razelor de lumină; celelalte își reduc rezistența electrică atunci cînd sînt luminate. Dintre corpurile fotoconductive cel mai cunoscut este seleniul, utilizat de multă vreme în electrotehnică.

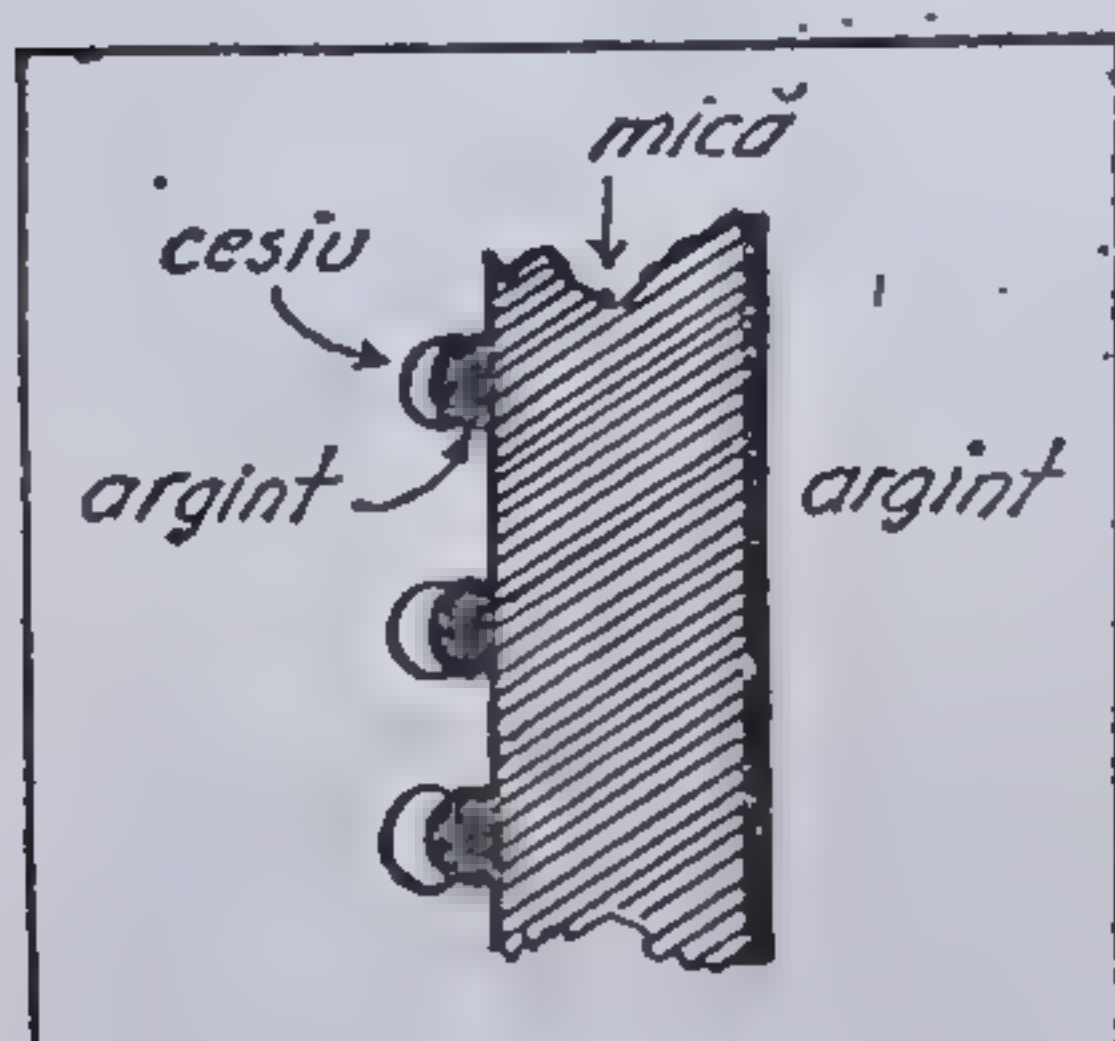
Printre corpurile fotoemisive întîlnim în special metale alcaline cum ar fi litiul, sodiul, rubidiul și cesiul. Cel mai utilizat dintre ele este cesiul deoarece curba sa de sensibilitate este foarte apropiată de cea a ochiului, fiind cuprinsă între roșu și violet și avînd un maxim în verde, adică în mijlocul spectrului luminos vizibil.

Stratul de substanță fotoemisivă din tubul analizor poartă uneori numele de *fotocatod*. Sub acțiunea razelor de lumină, fotocatodul emite o cantitate de electroni proporțională cu intensitatea luminii care a ajuns în punctul respectiv.

Suprafața pe care este proiectată imaginea de transmis, trebuie să fie acoperită cu un mozaic alcătuit din milioane de particule fotoemisive. În acest fel, fiecare element de imagine acoperă mai multe particule.

Te întrebă probabil, cum se realizează un astfel de mozaic. Iată cum: pe un strat foarte subțire de mică se împrăstie pică-

turi minuscule de argint. Apoi se pulverizează cesiul, care se așează într-o peliculă foarte fină pe fiecare din picăturile de argint. În consecință, iau naștere niște particule microscopice, izolate una față de cealaltă.



Stratul fotoemisiv

Pe cealaltă față a plăcii de mică se depune un strat uniform de argint. Îți dai desigur seama, că fiecare particulă fotoemisivă formează cu acest strat de argint un fel de microcondensator.

Să vedem acum, în ce fel se utilizează mozaicul fotosensibil, în tuburile analizoare.

ICONOSCOPUL, STRĂMOȘUL TUBURILOR ANALIZOARE

Iconoscopul, primul tub electronic analizor, a fost inventat în anul 1932 de Wladimir Zworykin, unul din pionierii televiziunii. El a fost asistentul profesorului Boris Rosing care a utilizat pentru prima oară, în laboratorul său din Petersburg, un tub catodic pentru recepția imaginilor.

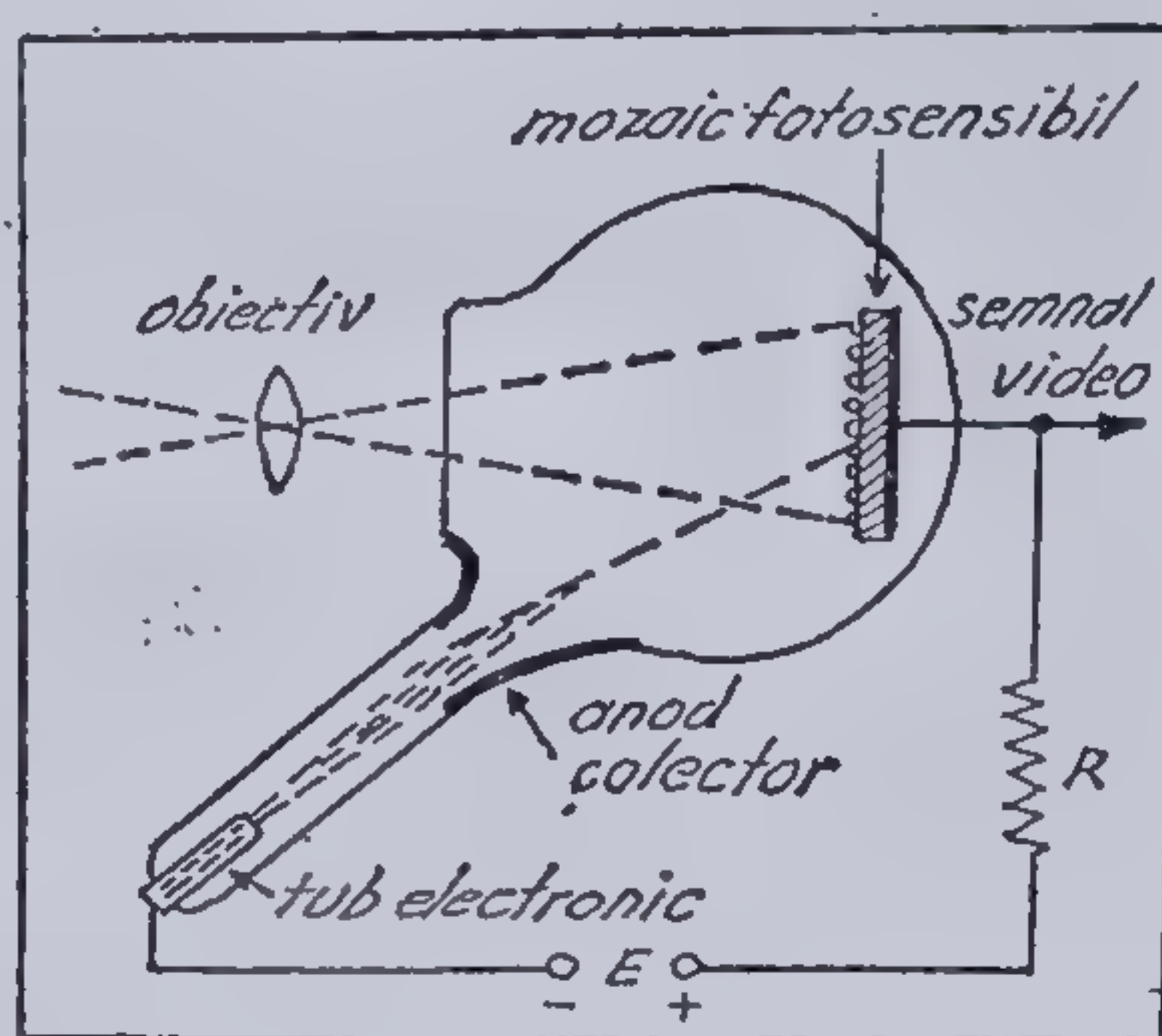
Iconoscopul, al cărui principiu a pus bazele tuburilor analizoare moderne, a fost realizat de Zworykin în Statele Unite.

În acest strămoș al tuburilor de astăzi, mozaicul fotoemisiv este așezat la extremitatea unui tub cu vid, de o formă specială. În fața mozaicului, peretele de sticlă al tubului este plan. Cu ajutorul unui obiectiv, se proiectează imaginea prin acest perete, pe mozaicul fotoemisiv.

Fiecare particulă din mozaic emite un număr mai mare sau mai mic de electroni, în funcție de intensitatea luminii incidente. Electronii emiși sînt atrași de un anod colector, alcătuit dintr-o depunere de metal care acoperă o parte din pereții interiori ai

tubului și al cărui potențial pozitiv atrage electronii, care sînt sarcini elementare negative.

Înțelegi desigur, că fiecare particulă fotoemisivă se încarcă cu o sarcină pozitivă, mai mare sau mai mică, în funcție de numărul de electroni emis. În consecință, armătura pe care o constituie stratul conductor de pe fața opusă a plăcii de mică atrage un număr de electroni.



Tubul analizor iconoscop, realizat în 1932 de Wladimir Zworykin.

Să vedem acum care este rolul fascicului de electroni emis de tunul electronic situat la extremitatea porțiunii înclinată a tubului. Fasciculul este focalizat și deviat pe orizontală și pe verticală. Cîmpurile electrice și magnetice sîlesc fasciculul să exploreze imaginea, în conformitate cu standardul adoptat. Ce se petrece în timpul explorării? Cum acționează fasciculul de electroni asupra fiecăreia din particulele fotoemise, parcurse în totalitate în timp de $1/25$ secunde?

Electronii neutralizează în fiecare particulă sarcina pozitivă pe care a acumulat-o lumina între două treceri succesive ale fascicului. Nemaifiind pozitivă, particula nu mai atrage electronii din pelicula metalică depusă pe fața opusă a plăcii de mică. Aceștia se scurg, prin rezistența R , la polul pozitiv al unei surse de înaltă tensiune.

Trecînd prin rezistență, curentul modifică potențialul capătului dinspre armătură al acesteia. Variațiile de potențial sînt proporționale cu sarcina pozitivă a particulelor, deci cu intensitatea luminii ajunsă pe particule.

Îți dai seama probabil, că aceste variații de potențial constituie chiar semnalul video care reprezintă strălucirea elementelor imaginii. După ce va fi amplificat și completat cu alte semnale, el va modula purtătoarea unui emițător de televiziune.

SUPERICONOSCOPUL

Iconoscopul are o serie întreagă de imperfecțiuni. Cea mai gravă dintre ele se datorează electronilor secundari. Ca și în cazul triodei (sper că n-ai uitat acest fenomen), șocul produs de electronii din fasciculul de explorare, proiectați pe particulele mozaicului, smulge un număr destul de mare de electroni secundari. Unii din ei sînt atrași de anodul colector. Dar cea mai mare parte se repartizează pe particulele care le atrag din cauza sarcinii pozitive pe care o produce lumina.

Iconoscopul a fost înlocuit de un tub a cărui concepție este puțin diferită și care se numește *supericonoscop*. În acest tub, imaginea este proiectată pe un fotocatod. Electronii emiși sînt azvîrliți către o țintă alcătuită dintr-un mozaic similar cu cel din iconoscop. Electronii secundari smulși în acest fel sînt atrași de anodul colector, iar pe mozaic apar sarcini pozitive. Nu cred că are rost să-ți explic amănunțit compunerea și funcționarea *supericonoscopului*, pentru că nici el nu mai este utilizat astăzi.

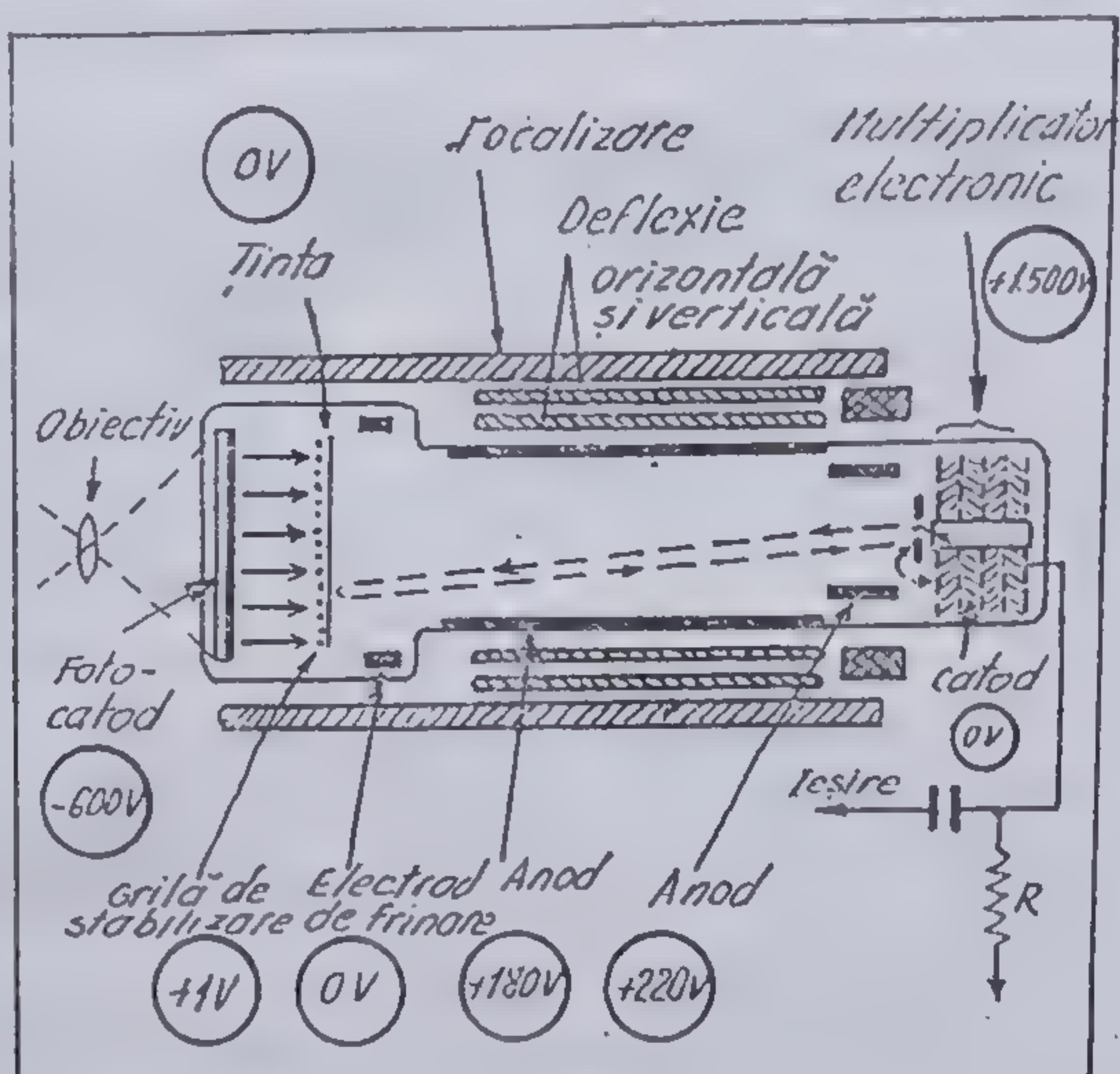
Supericonoscopul este totuși mai sensibil decît iconoscopul, datorită faptului că fotocatodul pe care este proiectată imaginea este format dintr-un strat uniform de cesiu, care oferă o soluție mai avantajoasă decît mozaicul.

SUPERORTICONUL

Cel mai perfecționat tub analizor, realizat pe baza principiului fotoemisiei, este *superorticonul*. În acest tub, imaginea este proiectată pe un fotocatod polarizat cu o tensiune negativă de valoare mare, care emite electronii spre o țintă alcătuită dintr-o plăcuță foarte subțire de sticlă (cca. 3 miimi de milimetru grosime!). Datorită unor săruri metalice incluse în compoziția ei, sticla are o oarecare conductibilitate electrică. Pe țintă nu se aplică nici o tensiune din exterior. Vei deduce cu ușurință că electronii emiși de fotocatod sînt atrași cu putere de ținta mult mai pozitivă decît fotocatodul. Bombardamentul electronilor atrași produce o emisie intensă de electroni secundari, care sînt captați de o sită foarte fină numită *grilă de stabilizare*, dispusă între fotocatod și țintă, la numai cîteva sutimi de centimetru de țintă.

Emisia secundară determină apariția pe țintă a unor sarcini pozitive, a căror valoare este cu atît mai mare, cu cît zonele corespunzătoare de pe fotocatod sînt mai puternic luminate.

Structura superorticonului. Valorile încercuite reprezintă tensiunile pe diverși electrozi.



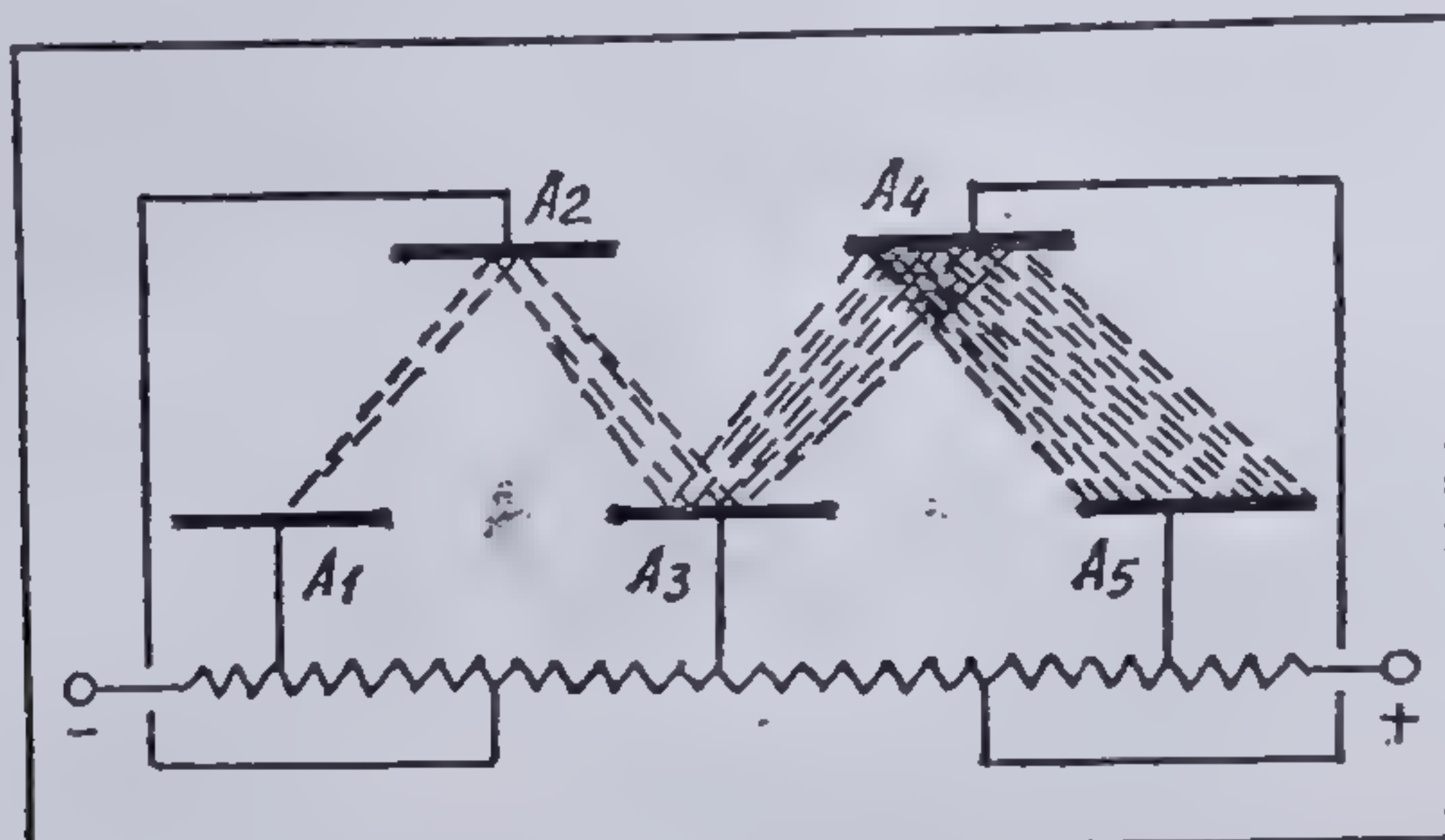
Fiind foarte subțire, ținta este traversată cu ușurință de sarcinile pozitive care sînt apoi neutralizate de fasciculul explorator proiectat de tunul electronic.

Particularitatea esențială a superorticonului este că fasciculul nu produce o emisie secundară atunci cînd atinge ținta. Un electrod așezat aproape de țintă și legat la o tensiune apropiată de zero constituie o adevărată frînă care încetinește mișcarea electronilor. Ei ajung astfel pe țintă cu o viteză foarte mică și nu extrag electroni secundari.

O parte mai mult sau mai puțin importantă din fascicul rămîne pe țintă și neutralizează particulele aflate la diverse potențiale pozitive. Ceilalți electroni se întorc spre tunul electronic și sînt atrași de anozii conectați la tensiuni pozitive înalte.

MULTIPLICATORUL DE ELECTRONI

Analizînd funcționarea tubului, vei ajunge cu ușurință la concluzia că intensitatea fasciculului de electroni este, la întoarcere, invers proporțională cu strălucirea elementelor corespunzătoare ale imaginii. Să verificăm această afirmație. Cu cît elementul este mai luminos, cu atît va fi mai pozitivă sarcina în punctul corespunzător de pe țintă; deci în locul respectiv vor fi absorbiți mai mulți electroni și fasciculul va fi mai sărac, la întoarcere.



Multiplicatorul de electroni. Cei cinci anodi sînt puși la potențiale din ce în ce mai ridicate.

Ce se întîmplă cu acești electroni care revin pe anodul tunului electronic? Ei bine, electronii sînt supuși unui proces foarte intens de amplificare, cu ajutorul unui *multiplicator electronic*.

Despre ce este vorba? Multiplicatorul electronic este un dispozitiv care se bazează pe fenomenul de emisie secundară. O suită de electrozi, aflați la potențiale din ce în ce mai pozitive, atrag succesiv electronii. Să presupunem că un electron emis de primul anod smulge, atunci cînd ajunge pe cel de al doilea anod, 10 electroni. Fiecare din acești electroni bombardează anodul următor, smulgînd cîte 10 electroni, deci 100 în total, ș.a.m.d.

După cum vezi, fenomenul de emisie secundară, atît de supărător în unele situații, este foarte util în acest caz.

Datorită amplificării uriașe pe care o asigură multiplicatorul electronic, superorticonul are o sensibilitate foarte mare. El prezintă însă unele dezavantaje în cazul transmiterii unor imagini foarte luminoase, care determină extragerea unui număr atît de mare de electroni secundari din țintă, încît grila de stabilizare nu reușește să-i capteze pe toți și semnalul video furnizat de tub este deformat.

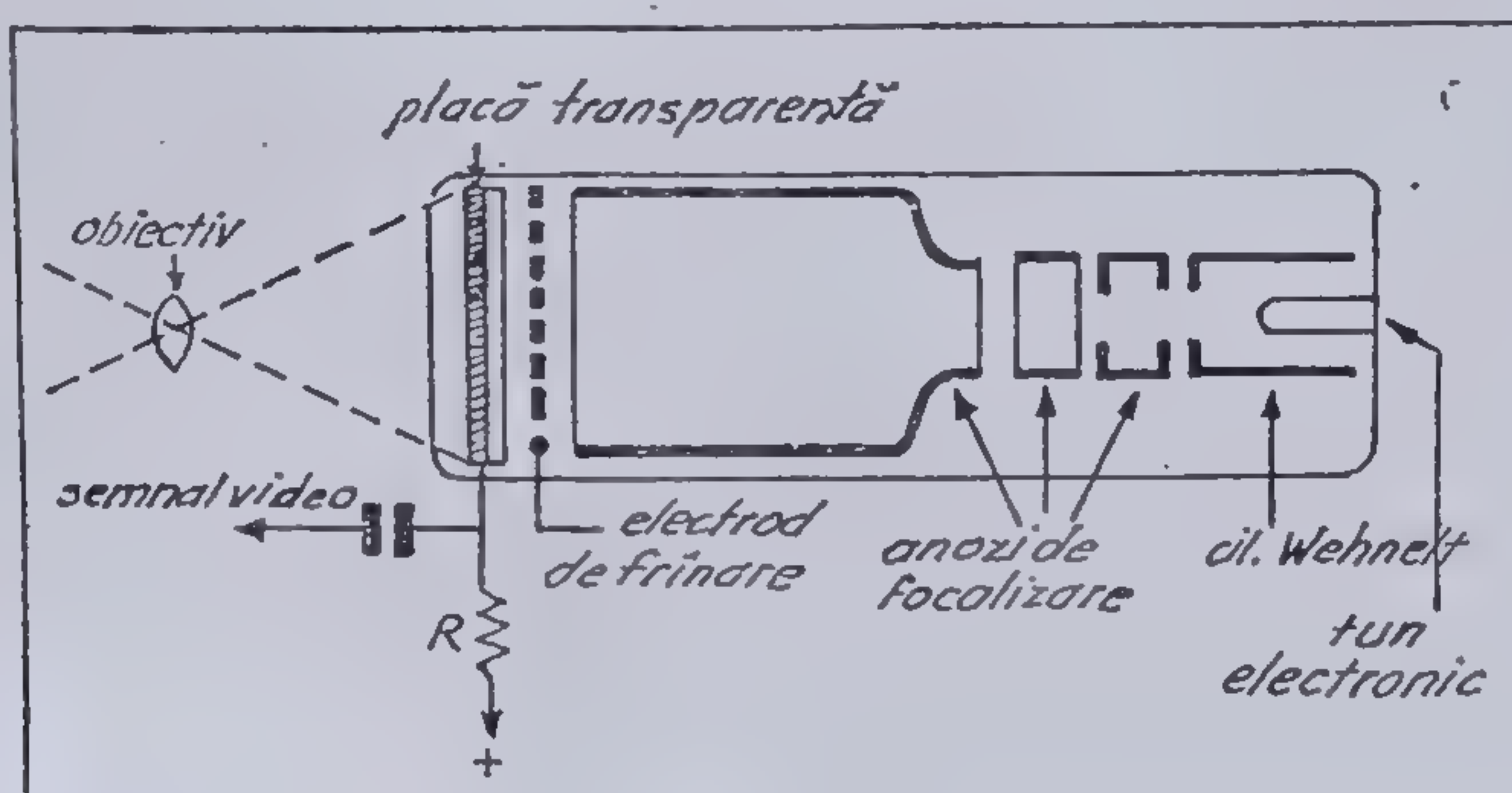
Din această cauză, astăzi se folosesc mai mult tuburile bazate pe fotoconductibilitate decît pe fotoemisie.

VIDICONUL ȘI PLUMBICONUL

Vidiconul este unul din cele mai răspîndite tuburi analizoare. Principiul lui de funcționare este următorul: imaginea este proiectată pe o placă metalică atît de subțire, încît devine transparentă. Razele de lumină trec prin metal și ajung pe un strat de substanță fotoconductivă care acoperă fața opusă a plăcii. Conductibilitatea acestui strat de seleniu sau de sulfură

de antimoniu crește proporțional cu intensitatea luminii ajunsă pe el.

Pe placa de metal a țintei cu material fotoconductiv se aplică un potențial cu câteva zeci de volți mai mare decât cel al tunului electronic. Fasciculul de electroni emis de tun este foca-



Tubul analizor vidicon

lizat de către o serie de anozi și de cîmpul magnetic al unei bobine care înconjoară tubul și pe care n-am mai desenat-o. Nici bobinele care determină deflexia fasciculului nu sînt reprezentate în desenul meu.

Ce se întîmplă în momentul în care imaginea este proiectată pe țintă? Trecînd prin placa metalică foarte subțire, lumina face ca diversele elemente ale stratului fotoconductiv să devină mai mult sau mai puțin conductoare. Prin urmare, potențialul pozitiv al plăcii atrage, prin stratul fotoconductiv, un număr variabil de electroni, deoarece fiecare element de suprafață are un potențial pozitiv, proporțional cu strălucirea punctului corespunzător din imagine.

Este ușor de înțeles că electronii din fasciculul care explozează această suprafață vor fi absorbiți, în proporție mai mare sau mai mică, în funcție de valoarea potențialului pozitiv al fiecărui element.

Înainte de a atinge stratul fotoconductiv, fasciculul de electroni străbate o grilă extrem de fină, al cărei potențial foarte scăzut reduce viteza electronilor. Datorită frînării, ei nu produc emisie secundară pe țintă și cei care nu sînt absorbiți pentru a neutraliza sarcinile pozitive, se întorc la tunul electronic.

Pe scurt, în funcție de iluminarea punctului explorat, un număr mai mare sau mai mic de electroni pătrunde prin stratul fotoconductiv pînă la plăcuța metalică; electronii străbat apoi

rezistența R pe care produc o cădere de potențial variabilă care reprezintă chiar semnalul video.

Plumbiconul asigură o sensibilitate mai mare decât vidiconul. El se bazează pe același principiu ca vidiconul, dar stratul său fotoconductiv este compus din protoxid de plumb și este încadrat de două straturi foarte subțiri, din care unul este purtător de electroni, iar celălalt de ioni pozitivi.

Sper, dragul meu Ignotus, că „sensibilitatea“ ta la explicațiile mele ți-a permis să înțelegi totul.

Convorbirea a 17-a

Emițătoare și receptoare de televiziune

Care este forma semnalului video? Dar cea a semnalului sincronizare? Cum este modulată unda purtătoare cu semnalul rezultat din compunerea acestor două semnale? În ce fel se transmite sunetul? Toate aceste probleme fac obiectul discuției în cadrul căreia prietenii noștri examinează structura generală a emițătoarelor și receptoarelor de televiziune în alb-negru.

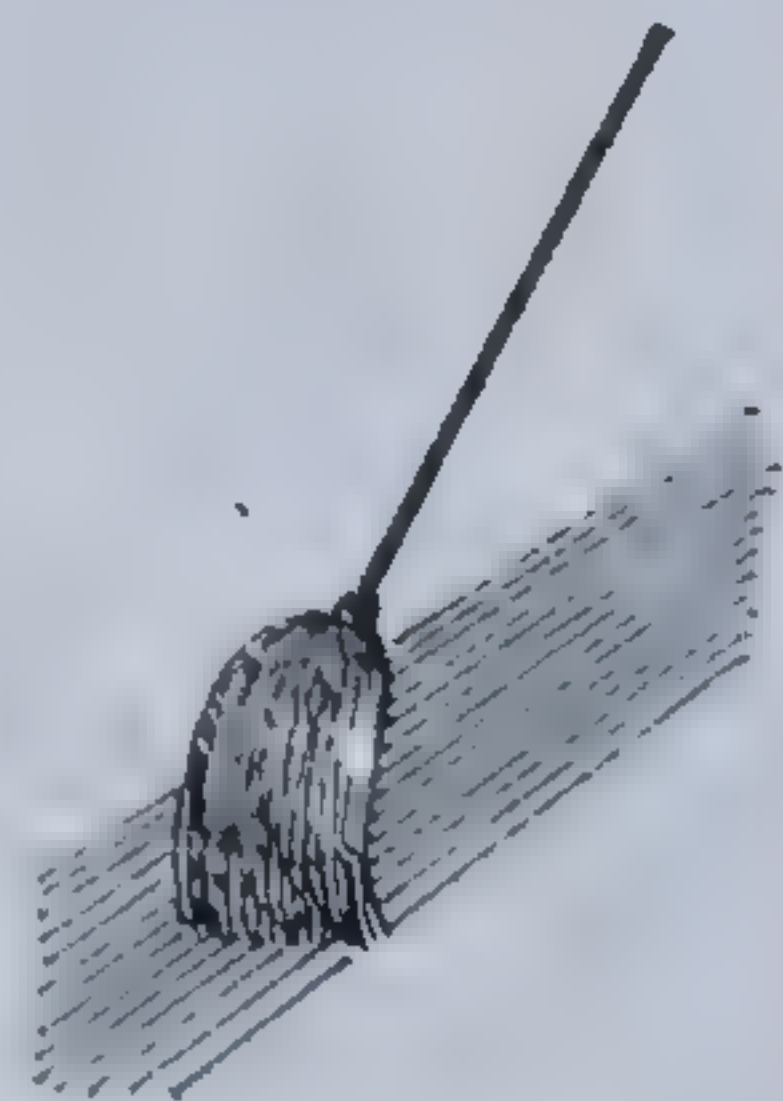
AMPLITUDINEA SEMNALULUI VIDEO

IGNOTUS : Cu ajutorul explicațiilor pe care le-am primit de la tine și de la unchiul tău, am impresia că am înțeles, în linii mari cum se realizează transformarea imaginilor în semnale electrice. Știu deci, care este structura diverselor tuburi analizoare și cum se generează curenții în dinți de fierăstrău care asigură baleiajul orizontal și vertical.

Semnalul video, obținut astfel, reprezintă fidel strălucirea elementelor de imagine explorate succesiv. Acest semnal ocupă, după cum am văzut, o bandă foarte largă de frecvențe. Pentru emisiunile noastre care utilizează 625 de linii, el ocupă 6 MHz.

CURIOSUS : Îți amintești cu siguranță că frecvența purtătoare trebuie să fie de câteva zeci de ori mai mare decât lărgimea de bandă. Într-o discuție anterioară, am vorbit despre benzi de foarte înaltă frecvență și ultra înaltă frecvență folosite în televiziune.

IGNOTUS : Mi-ai spus atunci că în televiziune se utilizează modulația de amplitudine, deoarece pentru modulația de frecvență ar fi nevole de o bandă prea largă.



Presupun că elementele cele mai luminoase ale imaginii măresc amplitudinea purtătoarei pînă la valoarea maximă, iar elementele negre o reduc la zero.

CURIOSUS : Felul în care se modifică amplitudinea purtătoarei în funcție de semnalul video modulator depinde de standardul adoptat de fiecare țară.

Ipoteza ta corespunde modulației *pozitive*. Standardele adoptate de un foarte mare număr de țări, printre care și țara noastră, prevăd însă utilizarea modulației *negative*.

IGNOTUS : Ce înțelegi prin modulație negativă ?

CURIOSUS : La acest tip de modulație, cu cît este mai mare luminozitatea unui element, cu atît scade amplitudinea undei purtătoare. Cu alte cuvinte, cu cît crește semnalul video, cu atît se reduce amplitudinea undei purtătoare.

Gama de luminozități nu produce însă — așa cum ai presupus tu — variații ale purtătoarei între zero și amplitudinea normală, ci doar între 10% și 75% din această valoare. Dincolo de nivelul corespunzător acestor 75% ne aflăm în zona semnalului mai negru decît negrul.

IGNOTUS : De ce nu se utilizează totalitatea amplitudinilor posibile, pentru redarea gamei de luminozități ? La ce servește acest sfert din amplitudinea maximă așezat dincolo de negru ?

CURIOSUS : Acolo este plasat semnalul de sincronizare care comandă întoarcerea spotului, la începutul liniilor și cîmpurilor. Îți dai seama că, în timpul drumului de întoarcere, fasciculul de electroni care explorează imaginea nu trebuie să „citească” strălucirile de pe acest traseu de revenire. În mod corespunzător, în receptor, fasciculul nu trebuie să producă în timpul întoarcerii un spot luminos.

IGNOTUS : Lucrurile se petrec la fel cînd scriem. Ajuns la sfîrșitul unui rînd sau al unei pagini, voi ridica tocul înainte de a reîncepe să scriu...

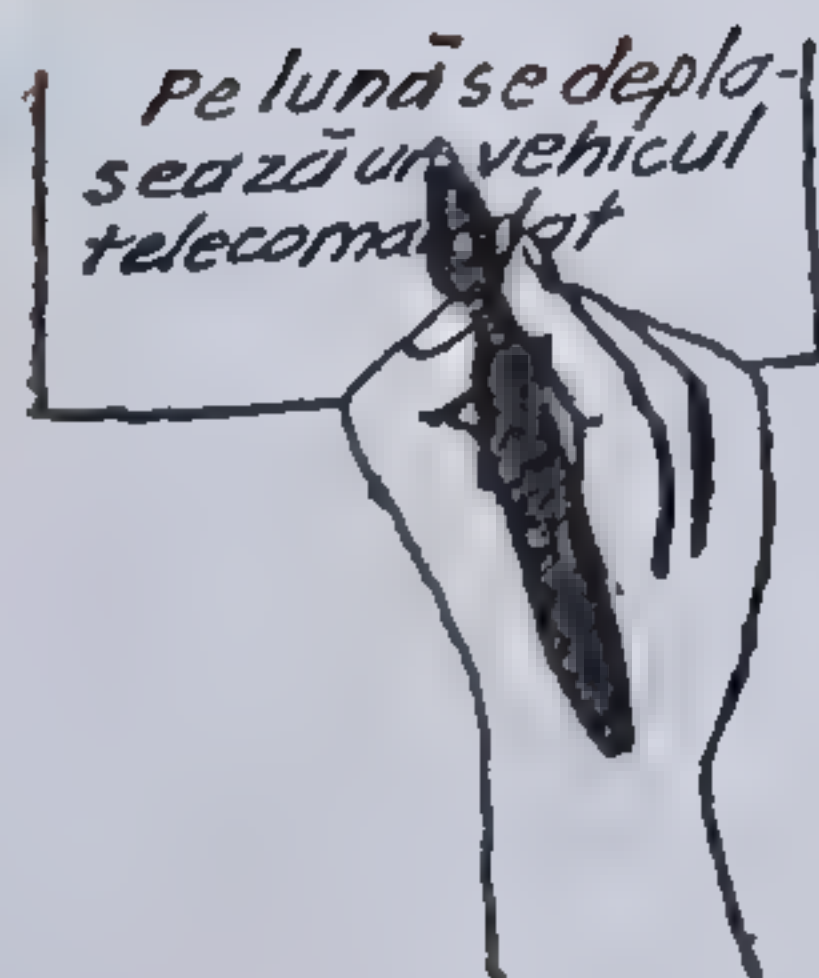
Deci toată gama de luminozități se încadrează în mai puțin de trei sferturi din amplitudinea undei purtătoare.

CURIOSUS : Există și unele standarde, cum ar fi cele folosite în Anglia, Belgia și parțial în Franța, pentru care negrul se află la 30% din nivelul maxim al purtătoarei.

IGNOTUS : Revenind la întoarcerea fasciculului, îmi închipui că pe durata acestei întoarceri semnalul modulator este în zona „mai negru decît negrul”.

FORMA SEMNALULUI DE SINCRONIZARE

CURIOSUS : Într-adevăr, toate standardele prevăd plasarea semnalelor de sincronizare în această zonă.

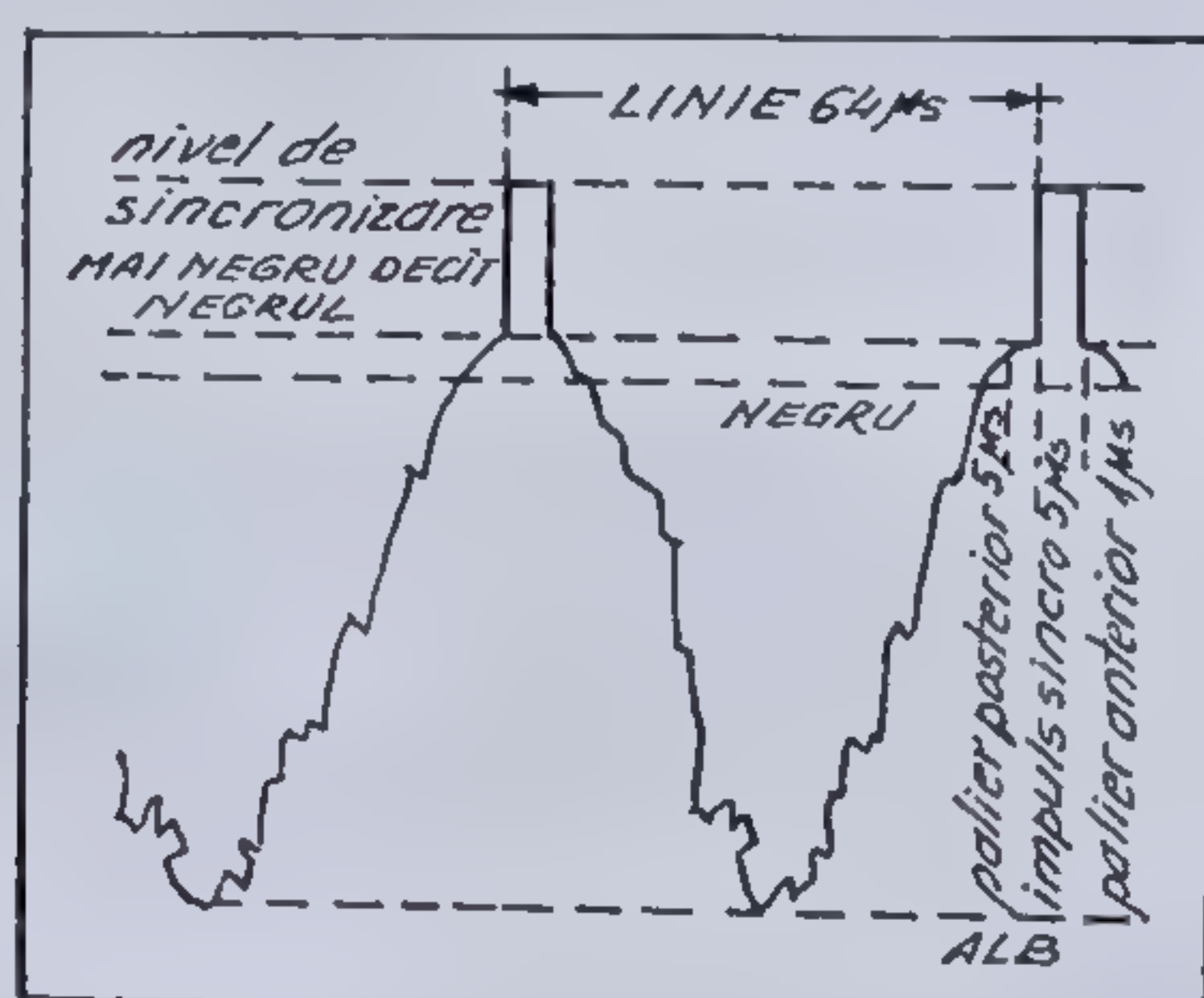


IGNOTUS : Ce formă are acest semnal ? Când mi-ai vorbit despre generatoarele de semnale în dinți de fierăstrău, ai amintit de „impulsurile de sincronizare“.

CURIOSUS : Da. Este vorba despre niște semnale foarte scurte, aproape dreptunghiulare. Semnalul de sincronizare pe orizontală este alcătuit dintr-un singur impuls care durează de zece ori mai puțin decât drumul dus și întors al unei linii. Înainte și după acest impuls, există câte un mic palier orizontal care se află tot în zona de dincolo de negru. Palierul care precede impulsul este mult mai mic decât cel care îl urmează.

Îți voi desena curba care reprezintă variația amplitudinii unei modulate, într-un interval care cuprinde explorarea unei linii și semnalele de sincronizare. Durata este dată în microsecunde și corespund aproximativ normelor Organizației Internaționale de Radio și Televiziune (OIRT) care sînt adoptate și în R. S. România.

Formarea semnalului video și nivelele corespunzătoare de iluminare.



ALB

MAI NEGRU DECÎT NEGRUL

IGNOTUS : Presupun că dacă voi întoarce desenul tău cu capul în jos voi obține situația corespunzătoare modulației pozitive utilizată în Franța, în Belgia și Anglia.

CURIOSUS : Văd că ești perfect informat despre standardele utilizate în lume.

A venit timpul să-ți spun cum arată semnalul de sincronizare pe verticală. Diversele standarde prevăd pentru ansamblul impulsurilor care alcătuiesc semnalul plasat între două cîmpuri succesive, o durată cuprinsă între 13 și 41 de ori durata unei linii. Standardul OIRT prevede între două cîmpuri un interval de 23—31 de ori mai mare decât durata unei linii.

IGNOTUS : Asta înseamnă cam 1,5—2 milisecunde. Un timp foarte scurt în aparență, dar deloc negliabil în electronică. Ce se petrece în acest interval de timp ?



CURIOSUS : În afară de impulsurile utilizate pentru sincronizarea pe verticală, în tot acest timp se succed cu regularitate impulsurile de sincronizare pe orizontală.

IGNOTUS : La ce bun, o dată ce în acest interval imaginea nu este transmisă ?

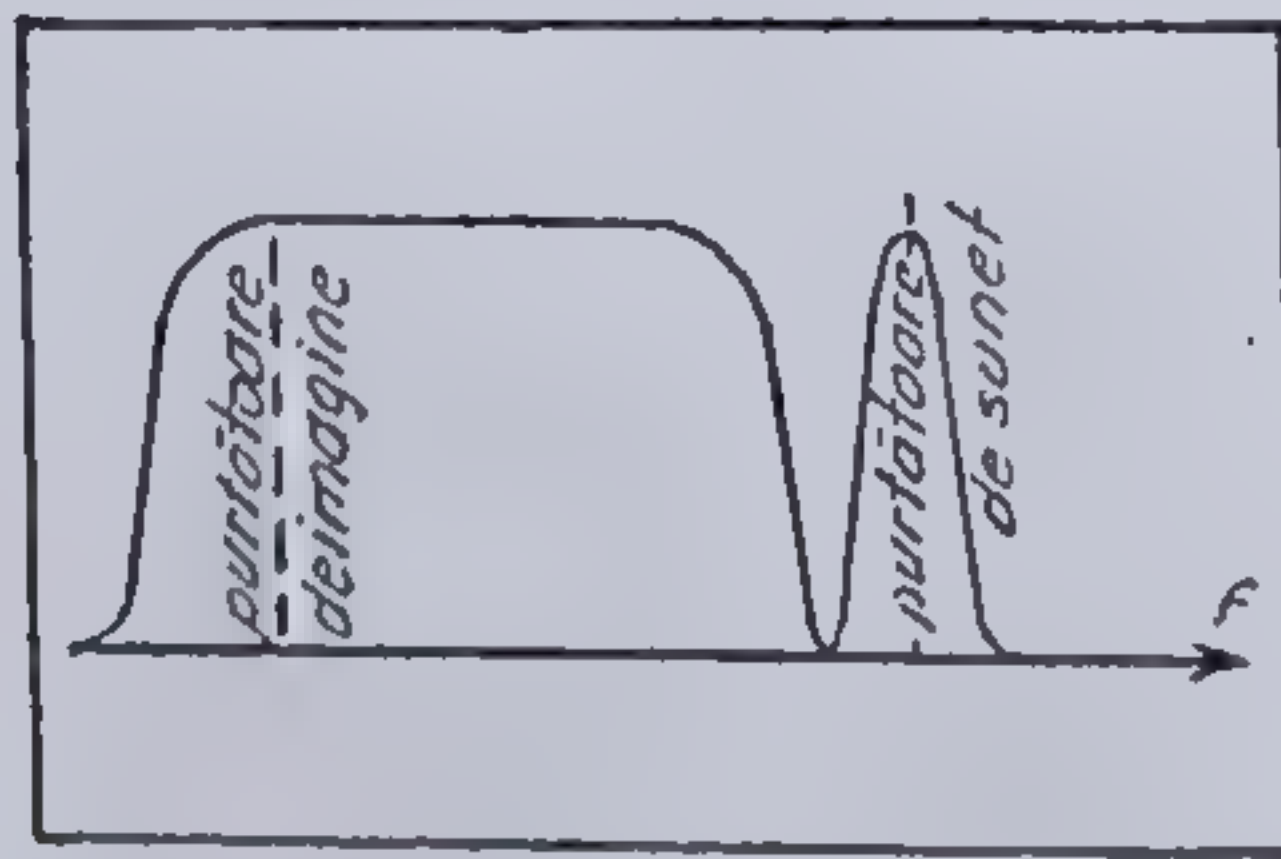
CURIOSUS : Dacă nu s-ar face comanda explorării pe orizontală, liniile n-ar mai fi sincronizate la începutul cîmpului următor și imaginea ar fi deformată.

UNDE MODULATE CU IMAGINE ȘI SUNET

IGNOTUS : Constat că undele emise în televiziune sînt teribil de complicate. În timpul fiecărei linii, amplitudinea undelor variază în funcție de luminozitatea elementelor explorate. La sfîrșitul liniei spotul devine mai negru decît negrul. Apoi, un impuls îl readuce la începutul liniei următoare și, după un scurt palier dincolo de negru, redevine luminos ; după ce s-a transmis în 1/50 secunde un cîmp, începe suita impulsurilor de sincronizare pe verticală. Spotul urcă pe durata cîtorva zeci de linii...

Mă gîndesc, pe de altă parte, la lărgimea uriașă de cîțiva megahertzi a benzii de modulație, care formează cele două benzi laterale în jurul frecvenței purtătoare.

CURIOSUS : Pot să te liniștesc în această privință. Una din cele două benzi laterale este redusă foarte mult, astfel că lărgimea globală de bandă ocupată de televiziune nu este chiar atît de mare.



Benzile de frecvență ocupate de undele care transmit imaginea și sunetul.

IGNOTUS : Spune-mi, undă care transmite sunetul este aproape de purtătoarea de imagine ?

CURIOSUS : Da, frecvența purtătoare de sunet este în imediata apropiere a benzii laterale neatenuate a imaginii. Din această cauză, aceeași antenă servește atît pentru recepția sunetului cît și pentru recepția imaginii.

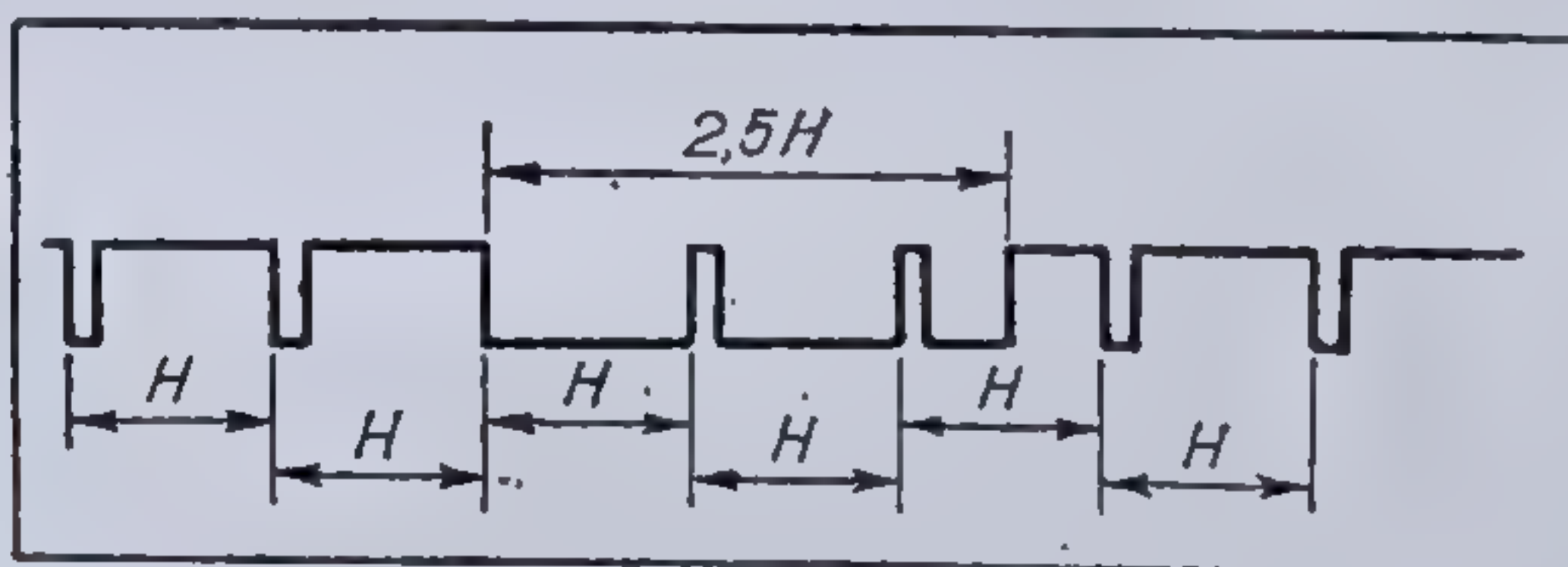
IGNOTUS : Purtătoarea de sunet este modulată în amplitudine sau în frecvență ?

CURIOSUS : La fel ca în majoritatea țărilor, la noi sunetul se transmite cu modulație de frecvență. În Franța, în Anglia și în Belgia se folosește modulația de amplitudine.

LANȚUL DE EMISIE LA TELEVIZIUNE

IGNOTUS : Am impresia că, un emițător de televiziune este mult mai complex decât un emițător de radiodifuziune care este, de altfel, o parte componentă a aceluși dintii.

CURIOSUS : Așa este. Dar pentru a rezuma ceea ce ai învățat îți voi desena o schemă... schematică a unui „lanț de emisie” care cuprinde instalațiile de la studioul și de la emițătorul de televiziune. Pentru simplificare voi omite partea de sunet.

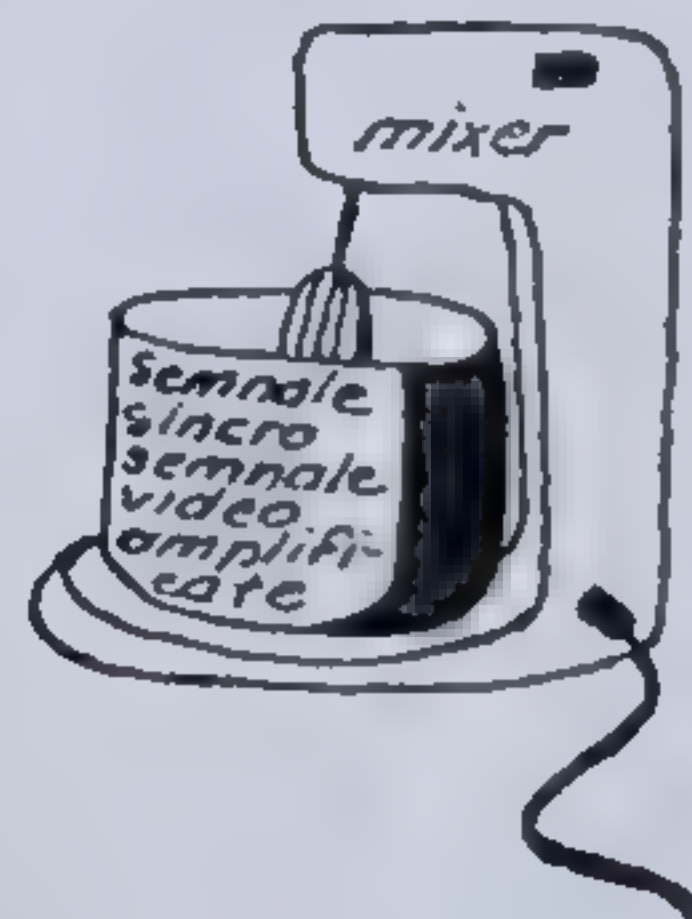


După cum vezi, generatoarele de semnale de sincronizare pe orizontală și pe verticală sînt comandate de un oscilator pilot. La rîndul lor, aceste generatoare comandă etajele care asigură baleiajul orizontal și vertical al tubului analizor.

Aceleași semnale de sincronizare sînt introduse într-un circuit în care sînt amestecate cu semnalul video, amplificat în prealabil. În acest fel se obține un semnal complex în care alternează variațiile de tensiune care redau luminanțele de pe fiecare linie, cu cele care comandă întoarcerea la începutul liniilor și cîmpurilor.

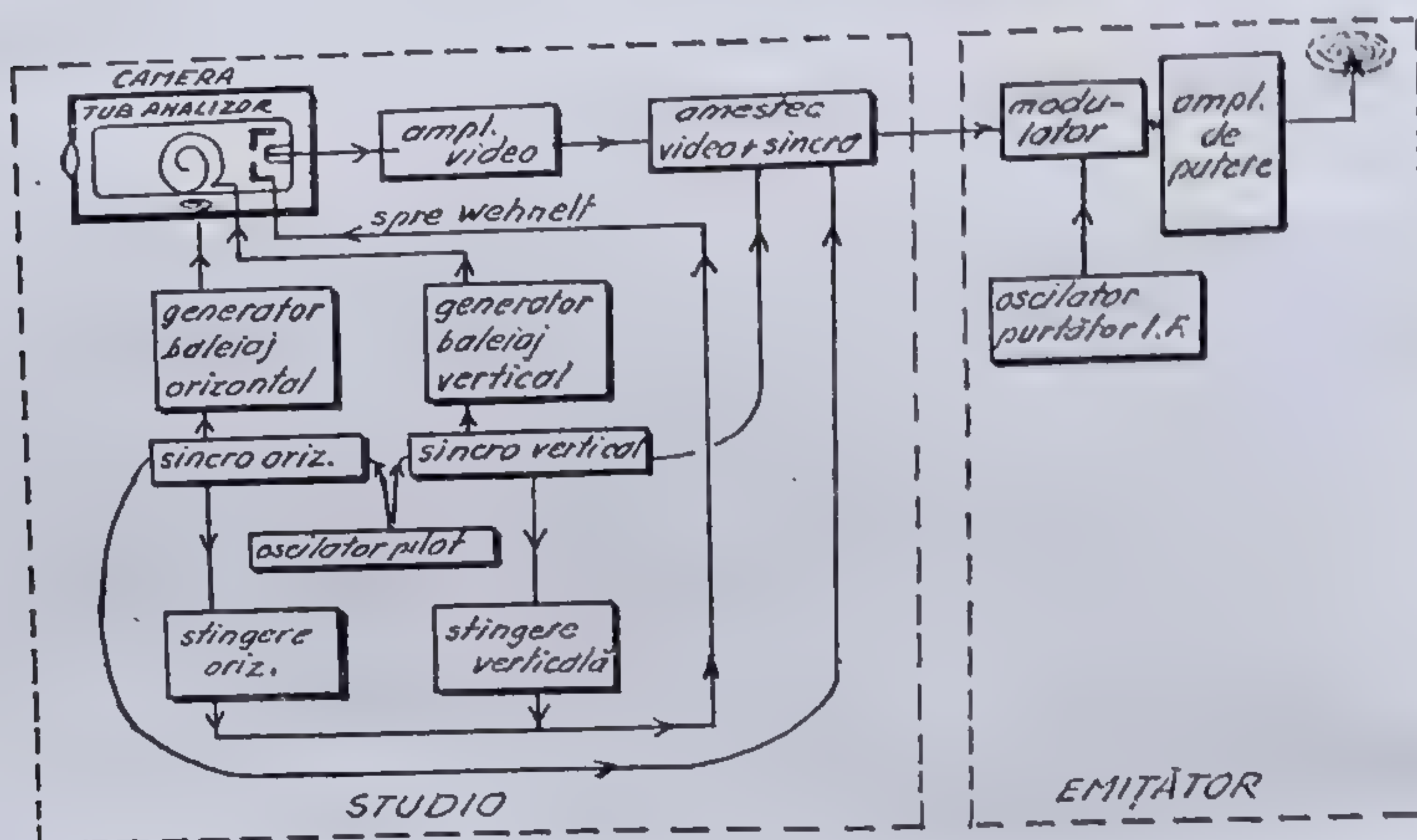
Aceste semnale complexe sînt trimise la emițătoare, unde modulează oscilațiile purtătoare. Amplificate pînă la puteri foarte mari, aceste oscilații sînt trimise în antena de emisie care le radiază sub formă de unde.

IGNOTUS : În schema ta figurează și niște blocuri pentru stîngere pe orizontală și pe verticală. Ele sînt comandate de semnalele de sincronizare și sînt legate la grila Wehnelt a tubului analizor.



Presupun că au rolul de a negativa destul de mult grila Wehnelt, în timpul întoarcerii pe orizontală și pe verticală, pentru ca fasciculul de electroni să fie oprit și să nu mai „citească” în acest timp elementele corespunzătoare ale imaginii.

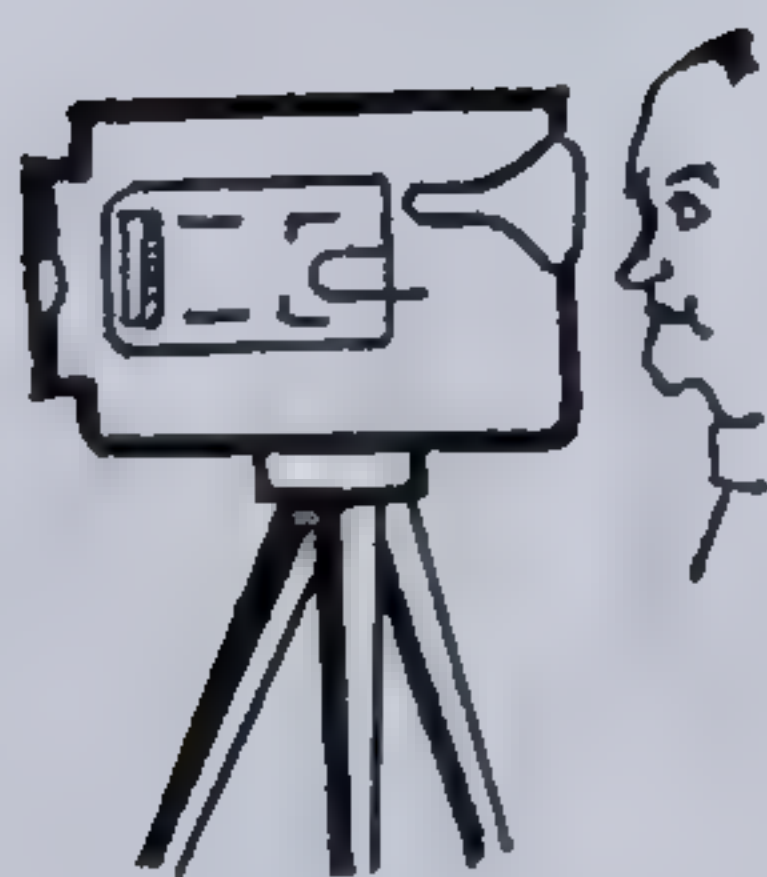
CURIOSUS : Exact. S-ar putea zice că, tubul analizor închide ochii în timpul întoarcerii pe orizontală și pe verticală.



Structura lanțului de televiziune. Săgețile indică sensul semnalelor.

Și pentru că vorbim de ochi, trebuie să știi că ochii operatorii de la camera de televiziune urmăresc imaginea într-un vizor complet diferit de cele utilizate în aparatele fotografice. În camera de televiziune, vizorul nu este optic ci electronic, adică este un televizor foarte simplificat.

Semnalul video ajunge în vizor direct din cameră, astfel încât operatorul vede o imagine identică cu cea care ajunge la telespectator.

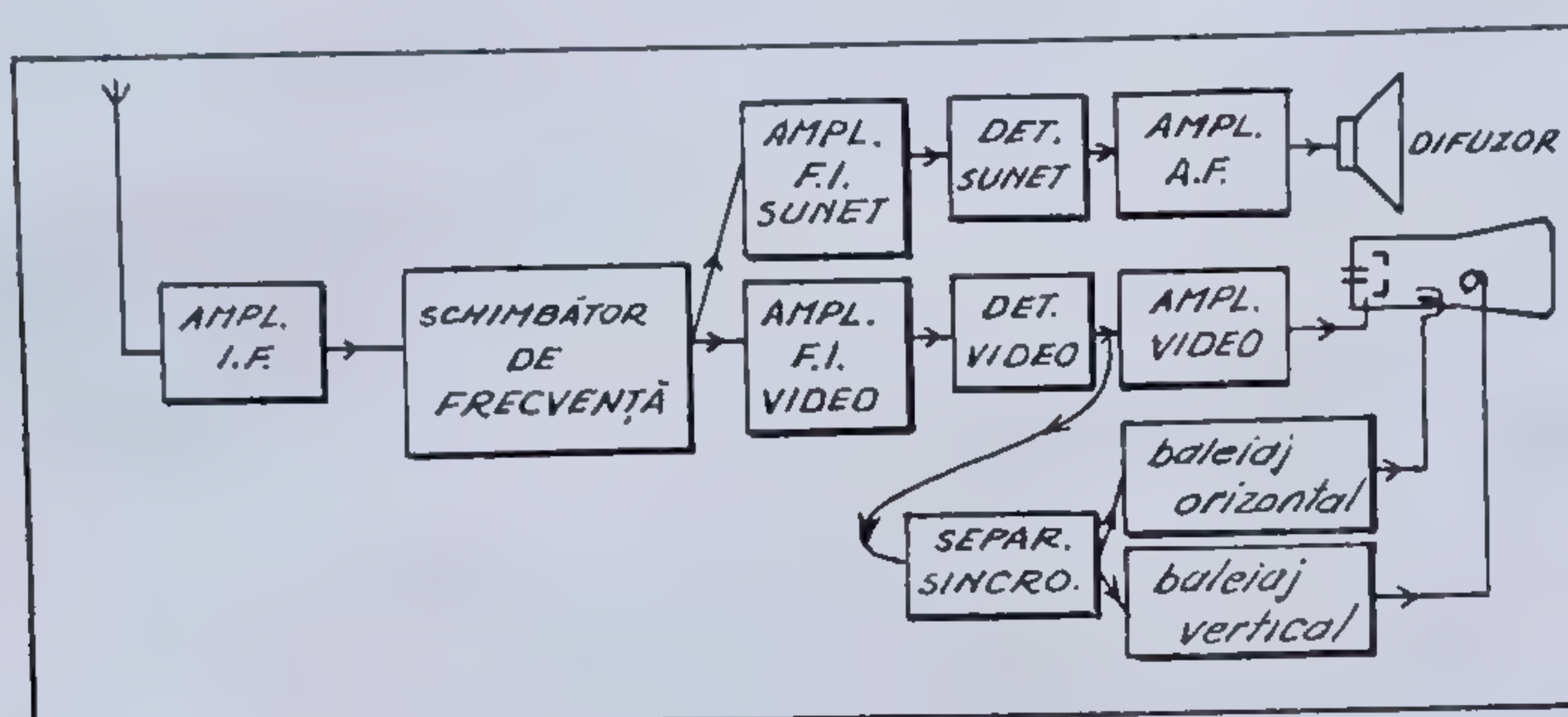


STRUCTURA RECEPTOARELOR DE TELEVIZIUNE

IGNOTUS : Pentru că vorbești de telespectatori, aș vrea să cunosc schema generală a unui televizor. Presupun că există o analogie între radiorceptoare și televizoare.

CURIOSUS : Bineînțeles. În receptorul de televiziune, semnalul de înaltă frecvență captat de antenă este amplificat și apoi introdus într-un schimbător de frecvență.

IGNOTUS : Prin urmare, schema unui televizor are elemente comune cu schema unui radioreceptor superheterodină.



Schema bloc a unui televizor.

CURIOSUS : Da, dar frecvența intermediară este mult mai mare la televizoare. În timp ce frecvența intermediară a radioreceptoarelor pentru unde medii și lungi este sub 0,5 MHz, în televizoare ea este de ordinul zecilor de megahertzi.

IGNOTUS : De ce e nevoie de frecvență atât de înaltă ?

CURIOSUS : Pentru că această FI trebuie să transmită banda frecvențelor video, care este de câțiva megahertzi.

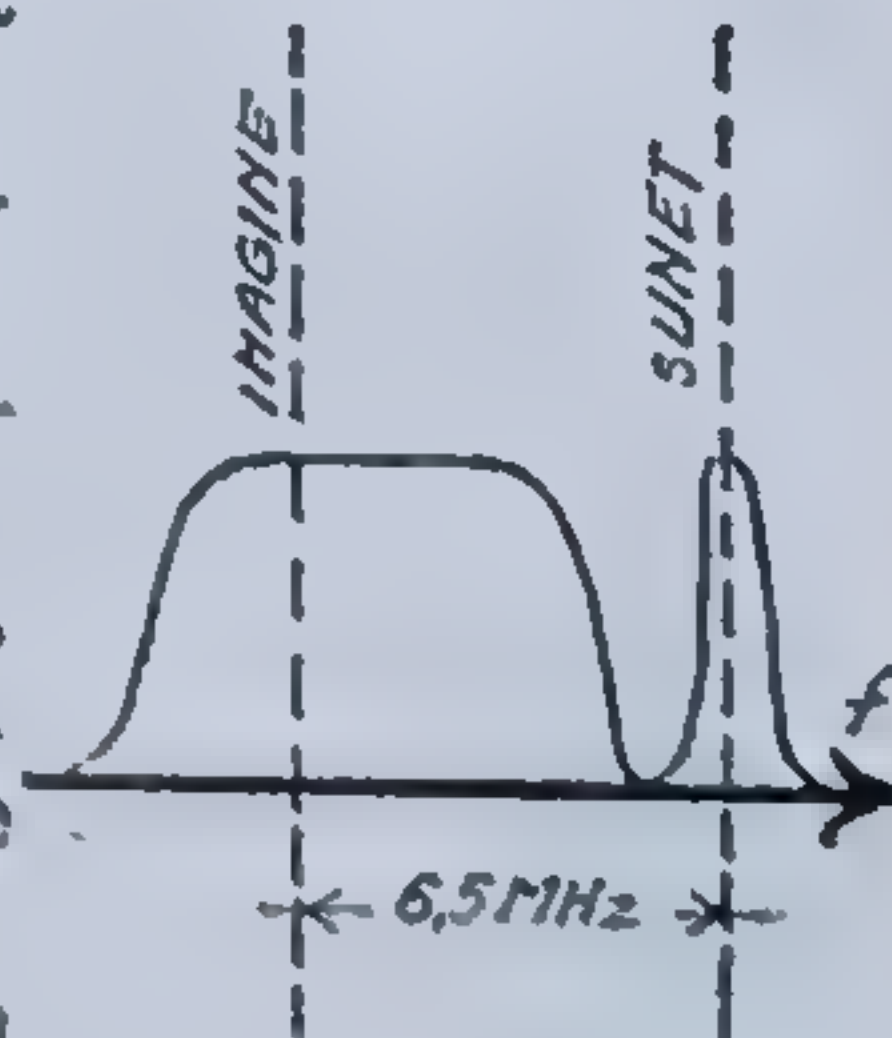
IGNOTUS : Văd pe schema ta că după schimbătorul de frecvență urmează un amplificator FI video și separat un amplificator FI sunet. De ce e nevoie de această separare ?

CURIOSUS : Ai uitat că sunetul este transmis pe o frecvență care este distanțată cu câțiva megahertzi de frecvența care transportă imaginea ? La noi în țară, frecvența purtătoare de sunet este cu 6,5 MHz mai mare decât cea a purtătoare de imagine.

IGNOTUS : Deduc că cele două frecvențe intermediare sînt și ele distanțate cu 6,5 MHz.

CURIOSUS : Exact. Și acum, pentru că ai reținut că purtătoarea de sunet este la o distanță fixă de cea de imagine, îți voi mărturisi că în receptoarele moderne se folosește un amplificator intermediar comun. Se separă apoi zona de frecvențe aflată la 6,5 MHz de FI imagine. Din semnalul obținut astfel, se extrage prin demodulare — la fel ca în receptoarele pentru modulația de frecvență — curentul de audiofrecvență, care se amplifică și se trimite apoi la difuzor.

Cît despre semnalul video, el este detectat, amplificat și trimis pe grila Wehnelt a tubului catodic al televizorului. În acest tub numit *cinescop*, luminanța elementelor de pe ecran



va depinde deci de semnalul video care comandă intensitatea fascicului electronic.

IGNOTUS : Văd că, după detecție, semnalul este trimis și la un separator de impulsuri de sincronizare, care comandă generatoarele de baleiaj pe orizontală și pe verticală. Nu-mi dau seama cum se face separarea impulsurilor.

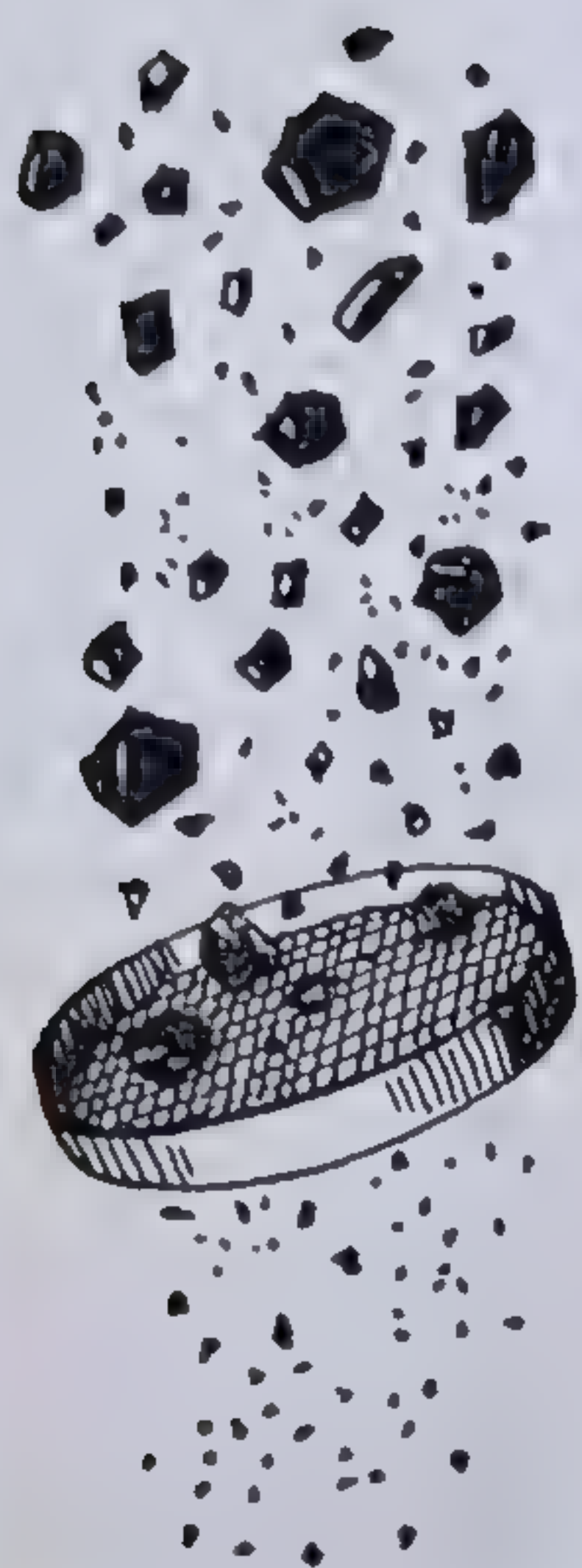
CURIOSUS : Ai uitat că semnalul de sincronizare are o amplitudine diferită de cea a semnalului video ? Dacă silim semnalul să treacă printr-un circuit format din diode, pentode sau tranzistoare, cărora li se aplică o anumită polarizare, vom obține numai amplitudinile cuprinse între limitele ce corespund impulsurilor de sincronizare.

IGNOTUS : În mod asemănător se petrec lucrurile, când se cerne pietrișul. Prin ochiurile sitei nu trec decât pietricelele mici.

CURIOSUS : În continuare, separarea dintre semnalul de sincronizare pe verticală și impulsurile de linii se bazează pe diferența mare de durată dintre ele.

IGNOTUS : Am înțeles, în linii mari, cum funcționează un televizor în alb-negru. Dar nu mi-ai spus nimic despre receptoarele de televiziune în culori.

CURIOSUS : Îți voi spune data viitoare.



Convorbirea a 18-a

Fizica și fiziologia culorii

Înainte de expunerea profesorului Radiol, care va vorbi despre principiile transducerii imaginilor în culori, Curiosus îi explică prietenului său, compoziția lumii albe și a diverselor culori din spectru. El examinează apoi aspectele fiziologice ale percepției culorilor și amintește despre teoria tricromatică pe care se bazează televiziunea în culori.

SPECTRUL LUMINOS

CURIOSUS : Unchiul meu Radiol este plecat într-o călătorie. Din această cauză, el n-a putut să înregistreze pe magnetofon expunerea următoare din seria celor în care îți explică diverse aspecte din tehnica electronică.

IGNOTUS : Păcat că nu-i aici, pentru că a pierdut prilejul să contemple curcubeul superb pe care l-ai observat probabil și tu azi dimineață.

CURIOSUS : Da, era foarte frumos.

IGNOTUS : Mă întreb cum reușește soarele, care răspîndește în mod normal o lumină albă, să radieze deodată această paletă minunată de culori, care se întinde de la roșu la violet și cuprinde atîtea nuanțe.

CURIOSUS : Te pomenești, Ignotus, că nu știi că lumina albă se compune chiar din toate aceste culori care, luate separat, alcătuiesc curcubeul ?

IGNOTUS : N-am știut. Dar nu văd de ce se produce această separare.

CURIOSUS : Cu două secole în urmă, celebrul matematician, fizician și astronom englez Isaac Newton a reușit să descompună lumina albă în culorile componente, trecînd-o printr-o prismă de sticlă. Culoarea se schimbă odată cu lungimea de undă a





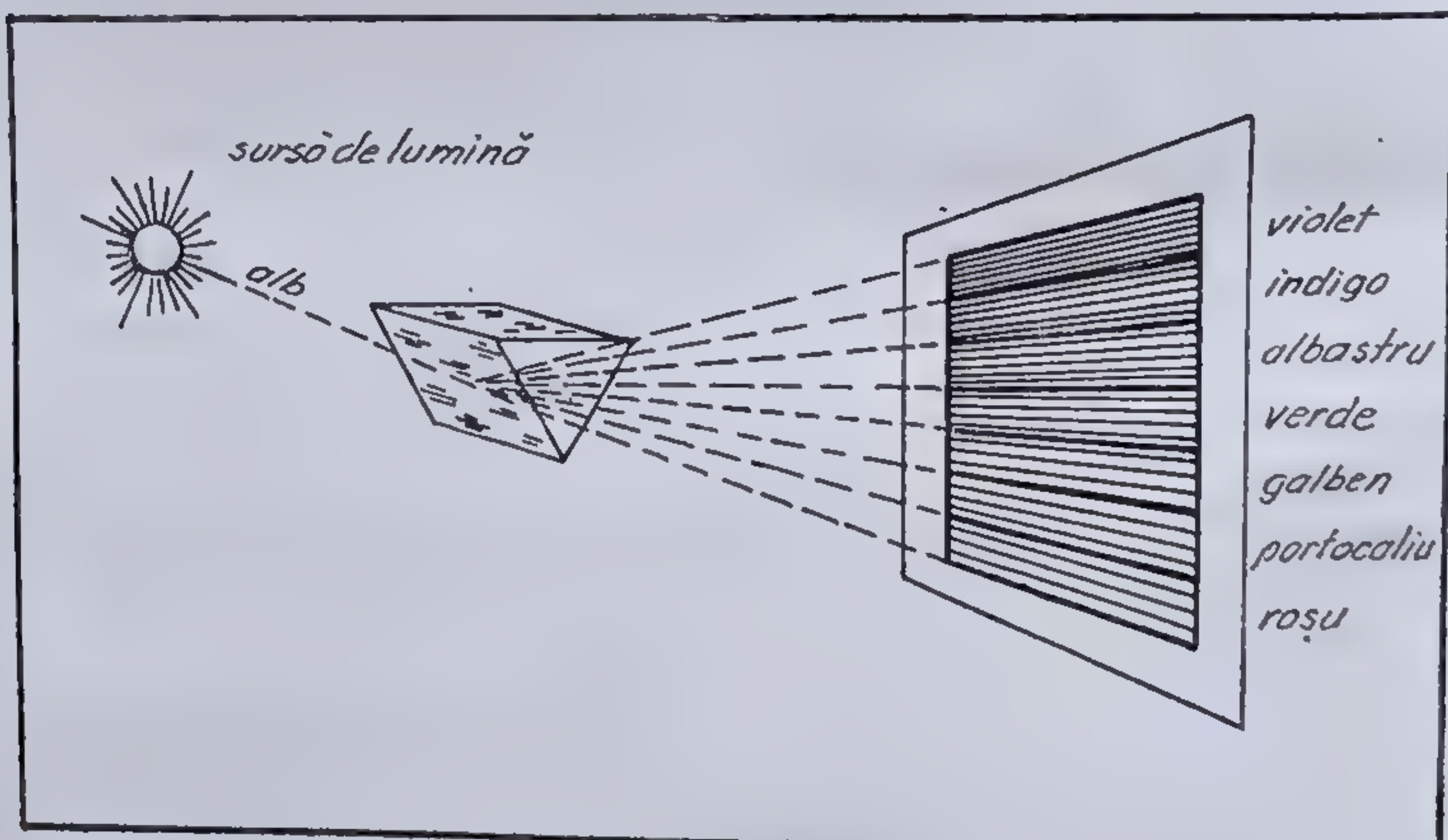
luminii, iar indicele de refracție, adică unghiul cu care este deviată o rază atunci cind trece dintr-un mediu în altul, variază și el în funcție de lungimea de undă.

Iată de ce, trecînd lumina albă printr-o prismă, împrăștiem culorile componente și obținem un spectru alcătuit din culori care variază continuu.

IGNOTUS : Bine, dar pe desenul tău sînt șapte culori diferite : violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu și roșu.

CURIOSUS : Aceste denumiri corespund, fiecare, unei game de nuanțe și nu unei culori definite printr-o lungime de undă unică.

Lumina vizibilă este cuprinsă între lungimile de undă de 380 și 780 nanometri, adică miliardimi de metru. Aceste limite corespund unor frecvențe care se întind de la 790 la 385 de terahertzi. Îți amintesc că prefixul „tera” are semnificația un milion de milioane.



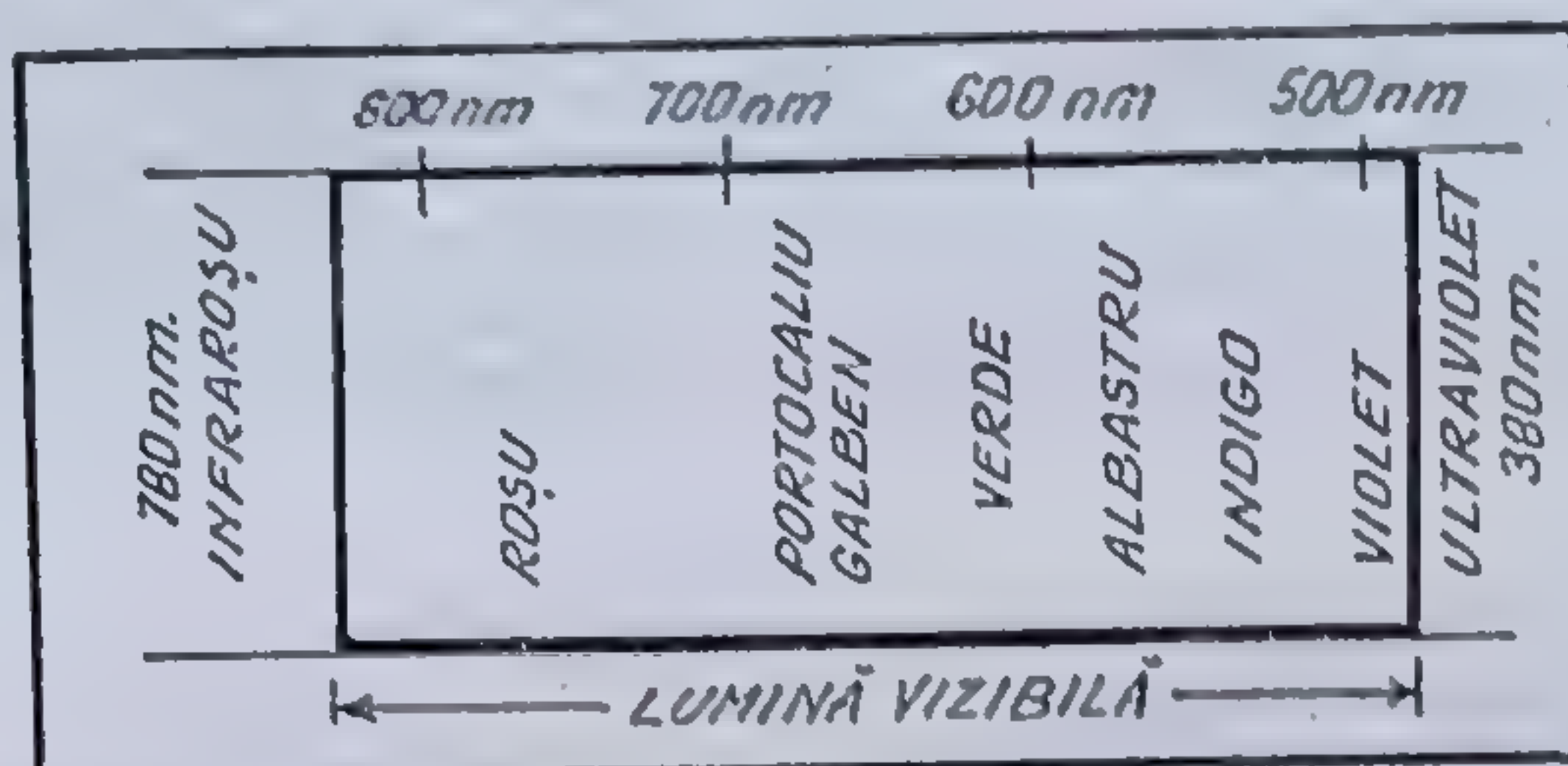
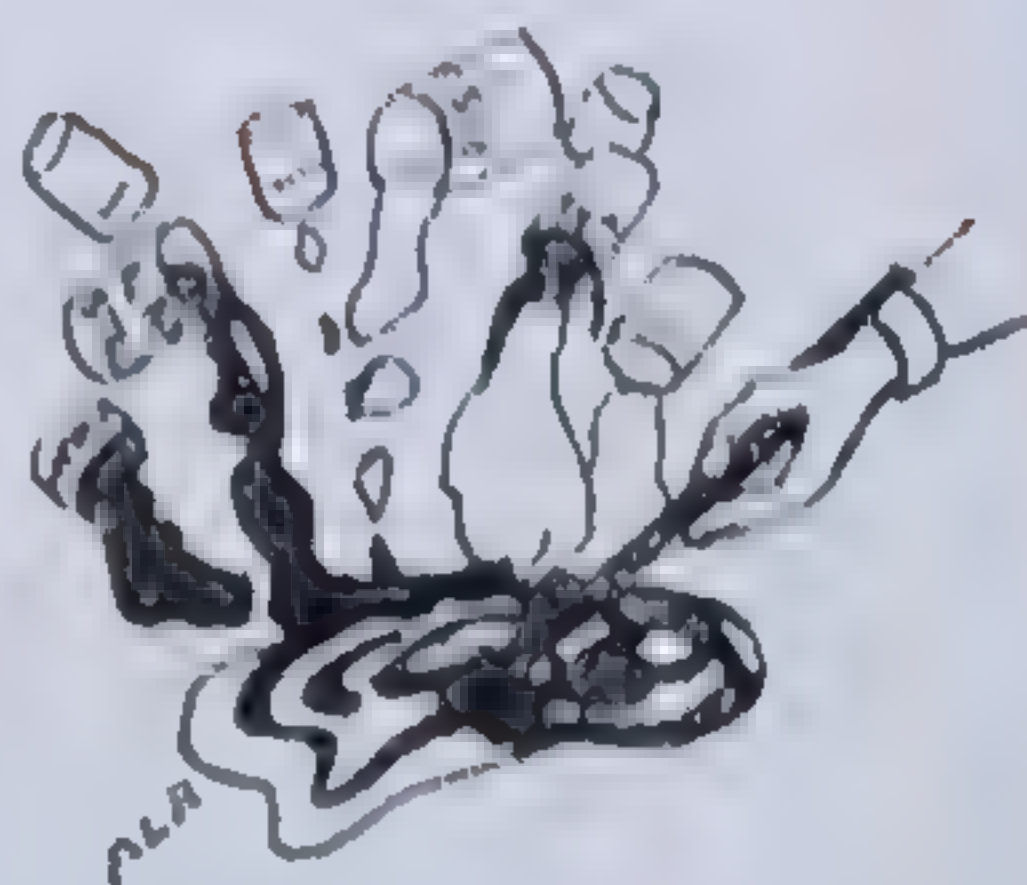
Trecînd prin prismă, lumina albă se descompune într-un spectru continuu de culori.

IGNOTUS : Deci ochiul omului nu vede decît o bandă îngustă de unde electromagnetice numite unde luminoase, în care frecvența maximă nu e nici măcar de două ori mai mare decît frecvența minimă.

CURIOSUS : Așa e Ignotus. Lungimile de undă mai mari decît cea corespunzătoare culorii roșii corespund razelor infra-roșii care ca și razele ultraviolete, ale căror lungimi de undă

sînt mai mici decît lungimea de undă a radiațiilor violete, sînt invizibile pentru noi.

Din fericire există celule fotoelectrice sensibile la aceste radiații pe care noi nu le vedem.



Lungimile de undă ale diferitelor culori din spectru, în nanometri.

IGNOTUS : Mă tot gîndesc la curcubeu. Oare curcubeul s-a format cu ajutorul unei prisme care se găsește în partea superioară a atmosferei ?

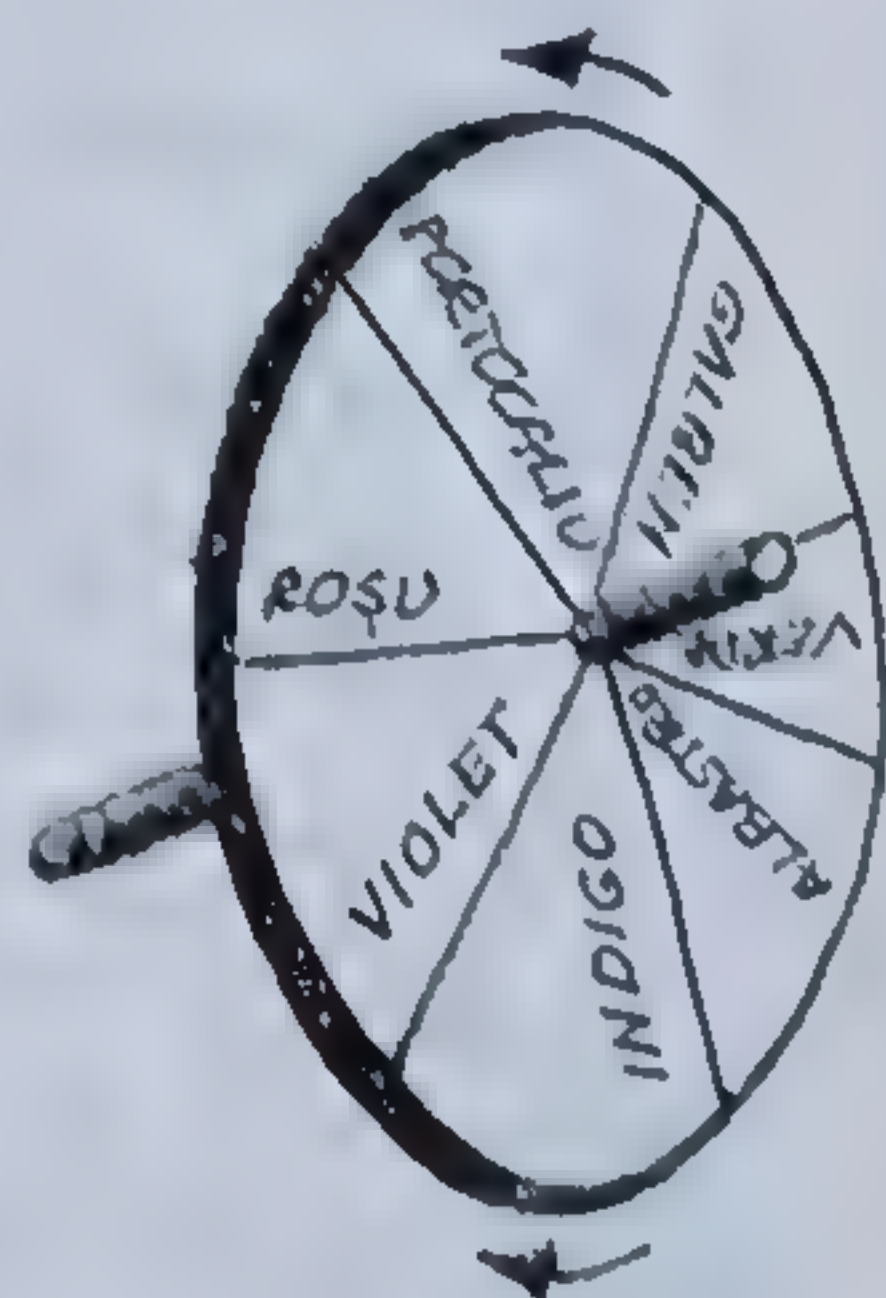
CURIOSUS : Evident că nu. Dar probabil că a existat un nor format din picături minuscule în care razele de lumină au fost supuse unei duble refracții, ceea ce a determinat dispersia diferitelor culori după lungimea de undă.

IGNOTUS : Deci culoarea albă nu există pentru că ea este compusă în realitate dintr-o gamă întreagă de culori. Și cum în fizică fenomenele sînt adesea reversibile, îmi închipui că privind printr-o prismă de sticlă o imagine care reprezintă tot spectrul cuprins între roșu și violet, vom avea impresia că vedem o suprafață albă.

CURIOSUS : Felicitări, Ignotus ! Ipoteza ta este justă și n-am întîlnit-o expusă în nici o carte de fizică. Deci este cu totul originală.

IGNOTUS : Vrei să mă flatezi... N-a avut nimeni ideea să experimenteze compunerea diferitelor culori pentru a obține albul ?

CURIOSUS : Ba da ! Începînd cu Newton care s-a distrat colorînd un disc în șapte culori repartizate în șapte sectoare. Rotit repede discul părea alb. De ce ? Pentru că, datorită persistenței senzației vizuale, culorile ne apar suprapuse și crează impresia unei lumini albe.



COMPUNEREA CULORILOR

IGNOTUS : Deci, compunerea culorilor în timp are același efect ca și compunerea lor în spațiu. Dar lumina albă se obține numai dacă însumăm toate culorile din spectru Nu-i așa ?

CURIOSUS : Nicidecum ! Albul se poate obține prin compunerea a numai trei culori : roșu, verde și albastru. Acestea sînt *culorile fundamentale* pe care se bazează *tricromia* vederii în culori.

FIZIOLOGIA VEDERII

IGNOTUS : Te rog să-mi explici acest fenomen.

CURIOSUS : Întîi aș vrea să-ți dau unele amănunte despre diversele aspecte fiziologice ale vederii.

După cum știi, ochiul omului seamănă cu un aparat de fotografiat. Cristalinul îndeplinește rolul obiectivului cu distanță focală variabilă. Convexitatea sa variază în funcție de distanța la care se află obiectul, asigurînd focalizarea imaginii proiectate pe suprafața fotosensibilă care este retina.

IGNOTUS : După tot ce mi-ai povestit despre indicele de refracție care variază în funcție de culoarea razelor care trec dintr-un mediu în altul, mă întreb dacă funcționarea cristalinului nu este imperfectă, căci o lentilă se comportă la fel ca o prismă și razele violetă vor fi deviate de cristalin mai mult decît razele roșii.

Prin urmare, dacă imaginea este colorată, proiecția ei nu se va afla în întregime în planul retinei. Părțile violetă și albastre vor fi mai în față, iar părțile roșii mai în spate. Numai partea verde, care se află la mijlocul spectrului se va găsi în planul retinei.

CURIOSUS : Mărturisesc că logica perfectă a raționamentului tău, mă copleșește. Ochiul omenesc are într-adevăr defectul numit *aberație cromatică* pe care tu l-ai dedus prin raționament. Din această cauză, ochiul distinge mai greu detaliile colorate.

IGNOTUS : Spuneai că retina este o suprafață fotosensibilă. Cine îi conferă sensibilitatea la lumină ?

CURIOSUS : Retina este acoperită cu două tipuri de celule fotosensibile, unele în formă de *conuri*, altele în formă de *bastonașe*. Conurile sînt sensibile la culoare. Pe retină sînt cam

ROȘU
+
PORTOCALIU
+
GALBEN
+
VERDE
+
ALBASTRU
+
INDIGO
+
VIOLET

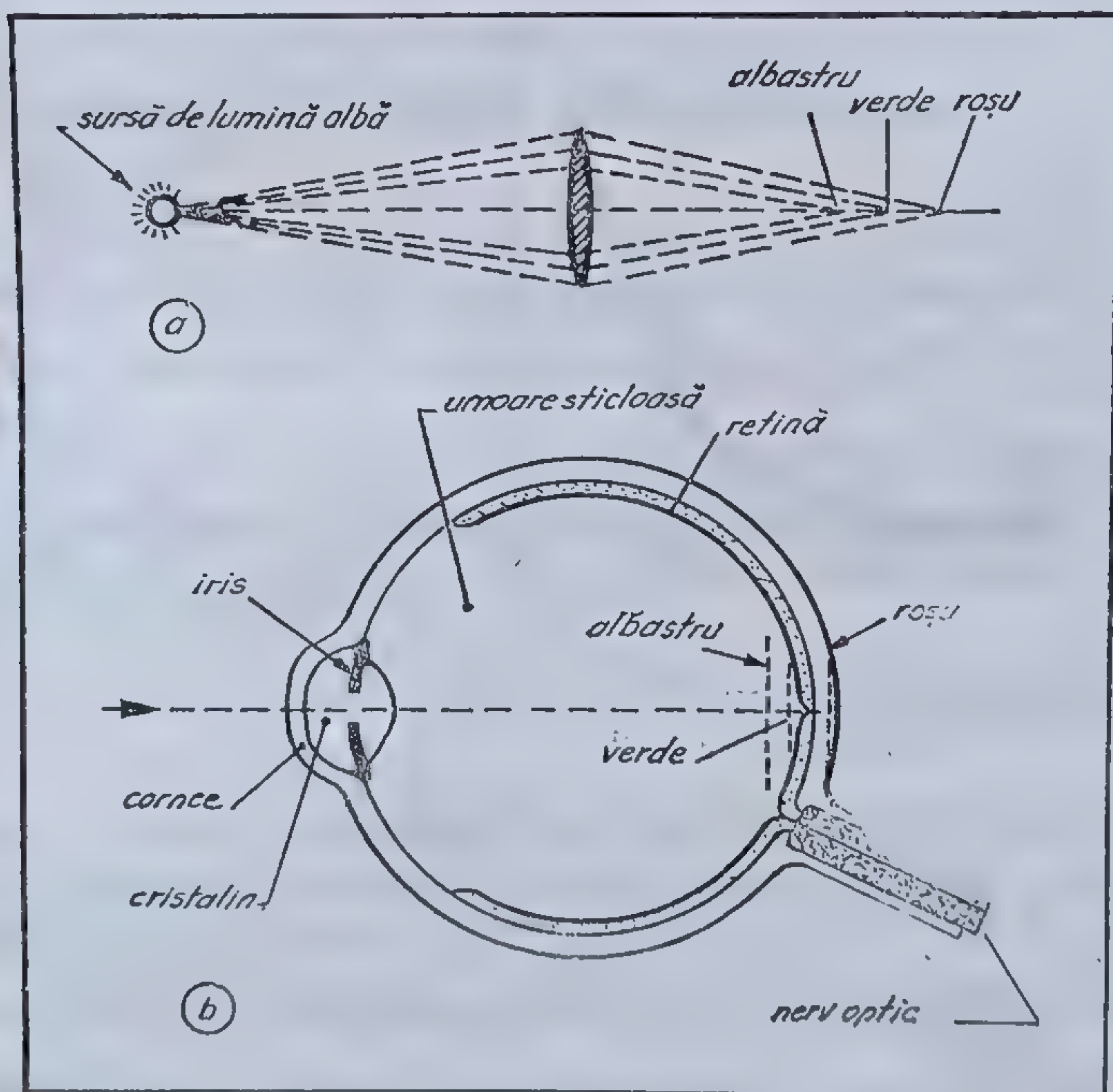
=
ALB

6 milioane de conuri situate, în cea mai mare parte, în zona ei centrală.

Bastonașele sînt de zeci de mii de ori mai sensibile decît conurile, dar sesizează numai intensitatea razelor de lumină, fără a deosebi culorile. Numărul lor este de aproximativ 120 de milioane.

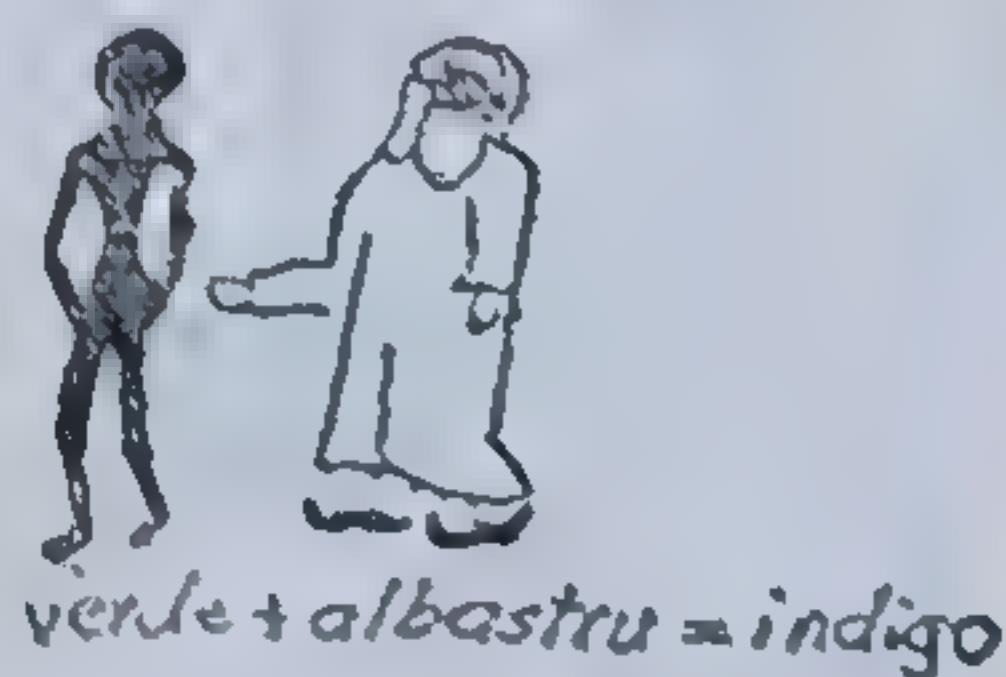
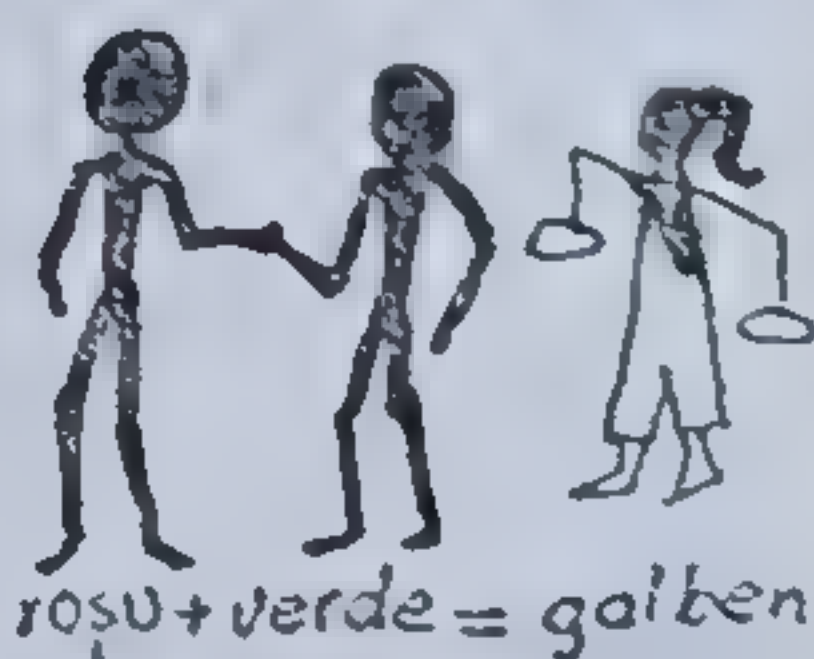
IGNOTUS : Cred că există o mare varietate de conuri, pentru a asigura recunoașterea fiecărei culori din spectru.

CURIOSUS : Așa se presupunea mai demult că stau lucrurile. Dar s-a descoperit că nu există decît trei categorii de conuri : unele sensibile la albastru, altele la verde și ultimele la roșu.



Razele de diferite culori care pleacă dintr-un punct dat, sînt concentrate, după ce traversează o lentilă, în focare mai mult sau mai puțin depărtate, în funcție de frecvența lor (a).

În (b) secțiune prin ochi. Cristalinul joacă rolul lentilei. Imaginea unui obiect multicolor se formează în mai multe planuri ; dacă suprafețele verzi ajung, datorită culorii cristalinului, în planul retinei, zonele albastre sînt mai în față, iar cele verzi mai în spate



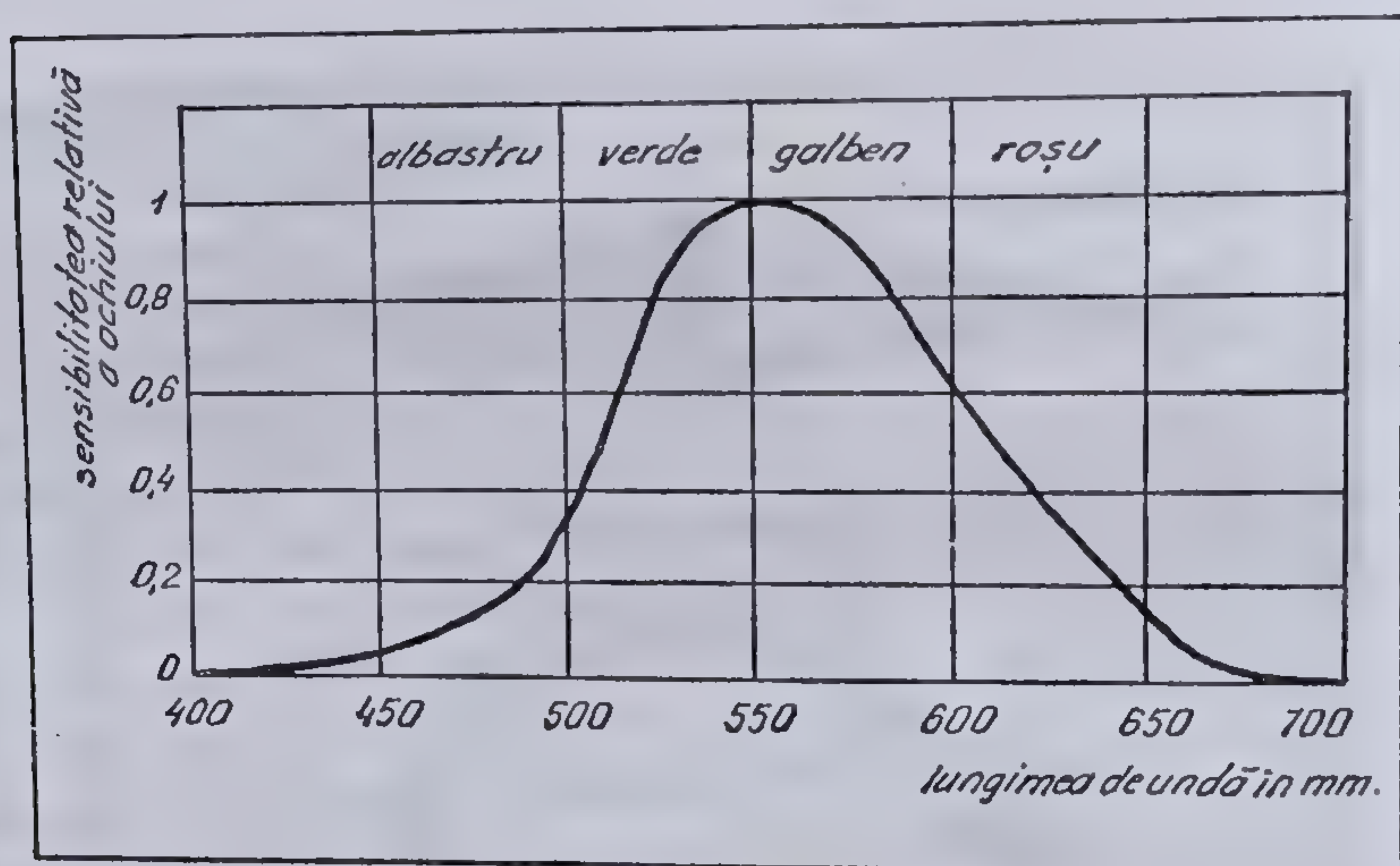
ROȘU + VERDE + ALBASTRU

$\overline{A \bar{L} B}$

PERCEPEREA CULORILOR

IGNOTUS : Aceasta trebuie să fie tricromia de care aminteați la început.

CURIOSUS : Evident. Conurile care captează razele verzi sînt cele mai sensibile. Cel mai puțin sensibile sînt conurile „albastru”. Iată cum arată curba sensibilității la culoare a ochiului omenesc.



Sensibilitatea ochiului în funcție de culoare.

IGNOTUS : Dar dacă nu există decît conuri sensibile la trei culori, cum vedem celelalte culori ? Din curbă rezultă că ochiul este sensibil — într-o măsură mai mică sau mai mare — la toate culorile spectrului. De altfel îmi dau seama și singur că este așa, dacă privesc o imagine multicoloră. Cum se explică acest fapt ?

CURIOSUS : Foarte simplu. Amestecînd în mod convenabil cele trei culori fundamentale, roșul, verdele și albastrul se obține toată gama culorilor vizibile. Iată cîteva exemple prezentate în formă aritmetică :

Roșu + Verde = Galben

Roșu + Albastru = Purpuriu

Verde + Albastru = Indigo

Roșu + Verde + Albastru = Alb

Prin dozarea intensității fiecărei culori fundamentale, se pot obține culori mai intense sau mai palide.

IGNOTUS : Acum înțeleg cum se reproduc în tipografie figurile colorate. Examinînd cu lupa o imagine dintr-o revistă, am constatat că în afară de negru, se mai folosesc la imprimare trei culori : roșu, galben și albastru. În afară de galben, celelalte sînt culori fundamentale.

CURIOSUS : Așa este, dar în acest sistem de imprimare verdele se obține prin suprapunerea culorilor galben și roșu.



TRANSMITEREA CULORILOR ÎN TELEVIZIUNE

Televiziunea în culori utilizează cele trei culori fundamentale percepute de conurile de pe retină : roșu, verde și albastru. La recepție se separă cele trei semnale corespunzătoare culorilor fundamentale. Se transmite însă și un semnal care reprezintă suma celor trei culori.

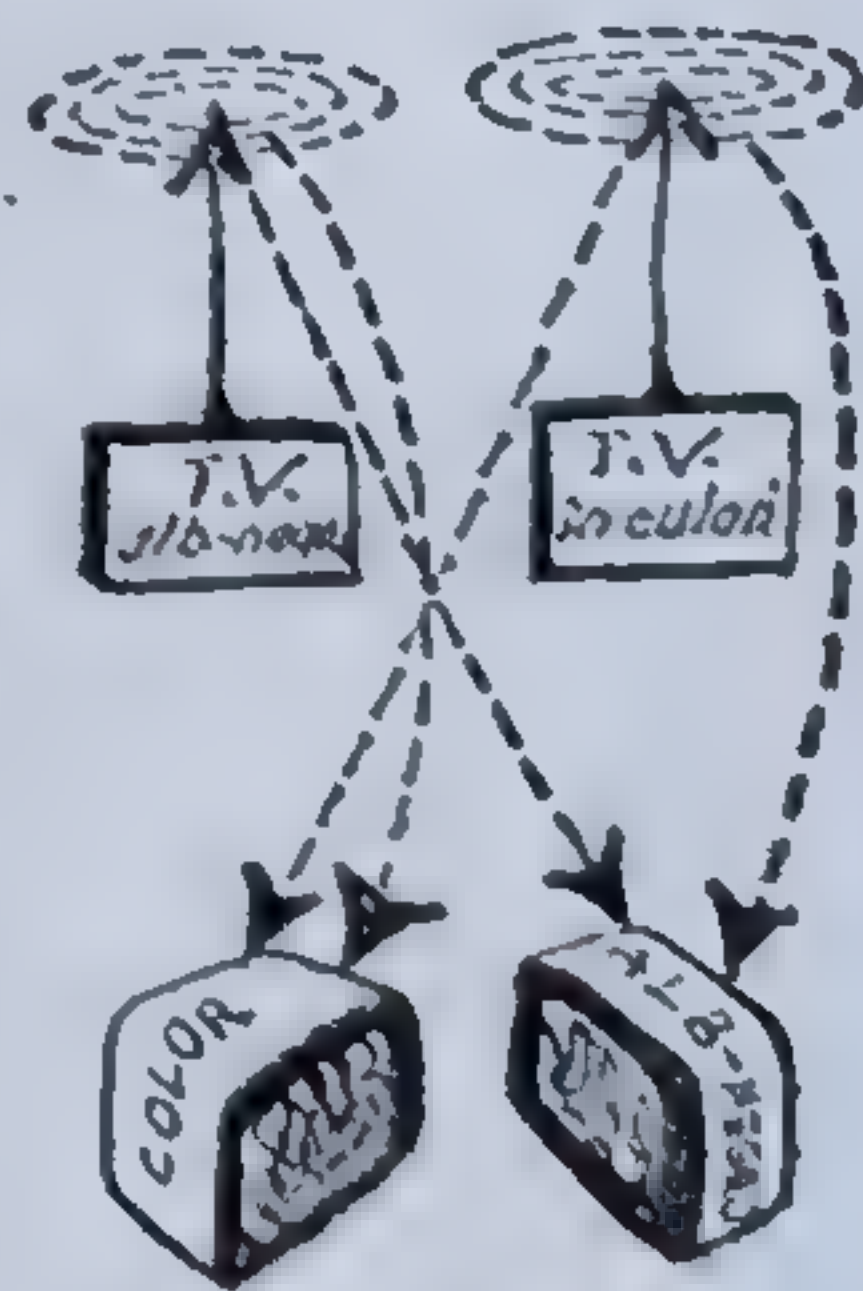
IGNOTUS : Nu văd la ce servește acest ultim semnal. Presupun că ecranul receptorului are elemente luminescente pentru fiecare din cele trei culori. Este deci suficient să avem la dispoziție semnalele corespunzătoare.

CURIOSUS : Raționamentul tău e corect, dar nu ține seamă de *principiul compatibilității* între televiziunea în alb-negru și televiziunea în culori.

Acest principiu prevede că orice emisiune în culori trebuie să poată fi recepționată atît pe un televizor în culori cît și pe un televizor în alb-negru pe care imaginea nu trebuie, bine înțeles, să fie colorată.

În același timp, este necesar să putem recepționa pe un televizor în culori și emisiunile transmise în alb-negru.

Acest principiu a fost formulat înainte de cel de al doilea război mondial de francezul Georges Valensi, unul din marii pionieri ai televiziunii. Tot el a stabilit o soluție care permite să se satisfacă aceste condiții. Pe această soluție se bazează astăzi toate sistemele moderne de televiziune în culori : la emisie sînt redade atît cele trei culori fundamentale cît și un *semnal de luminanță*, identic cu semnalul video din televiziunea



fără culori. El poate fi deci transformat în imagine, de televizoarele obișnuite în alb-negru.

IGNOTUS : E foarte utilă, această compatibilitate. Dar ea complică lucrurile pentru că ne obligă să transmitem patru semnale : cele trei culori și luminanța.

CURIOSUS : Și totuși reușim să transmitem imaginea doar cu ajutorul a trei semnale. Îi rezerv unchiului meu plăcerea de a-ți descrie metoda folosită.

Profesorul Radiol expune principiile

Emisia programelor de televiziune în culori

Cum poate fi transmisă întreaga gamă a culorilor din spectru, respectând intensitatea fiecărei culori? Această problemă complicată este rezolvată prin aplicarea principiului tricromiei. În același timp, emisiunea trebuie să fie compatibilă pentru ca să poată fi recepționată pe televizoarele în alb-negru. Pentru acest motiv este necesar ca unda să fie modulată cu semnalul de luminanță. Toate aceste chestiuni sînt examinate în continuare.

Cred, dragă Ignotus, că după ultima ta convorbire cu nepotul meu Curiosus, te-ai gîndit la problema pe care ți-a pus-o la sfîrșitul discuției voastre : cum se pot transmite, cu ajutorul a trei semnale, patru parametri — luminanța și cele trei culori fundamentale ?

LUMINANȚA = SUMA CROMINANȚELOR

Probabil că ai găsit pînă la urmă o soluție care constă în obținerea luminanței prin însumarea celor trei culori fundamentale. Dacă vom suprapune o rază roșie, una verde și una albastră, dozînd intensitatea lor în funcție de sensibilitatea ochiului față de fiecare din aceste culori, vom obține o lumină albă.

Să notăm cu Y luminanța și cu R , V , A cele trei culori primare care au următoarele lungimi de undă :

R (roșu) : 700 nanometri

V (verde) : 546,1 nanometri

A (albastru) : 435,8 nanometri

Dacă vei urmări curba sensibilității cromatice a ochiului omenesc și vei măsura valoarea care corespunde fiecărei culori fundamentale, vei constata că dacă vom considera sensibilitatea pentru verde egală cu 1, vom obține pentru roșu 0,5, iar pentru albastru 0,2.

Ești destul de tare la aritmetică pentru ca să aduni cele trei sensibilități.

$$1 + 0,5 + 0,2 = 1,7$$

Să calculăm acum contribuția fiecăreia din cele trei valori la total :

Pentru verde vom împărți 1 la 1,7 și vom obține 0,59

Pentru roșu :

$$0,5 : 1,7 = 0,30$$

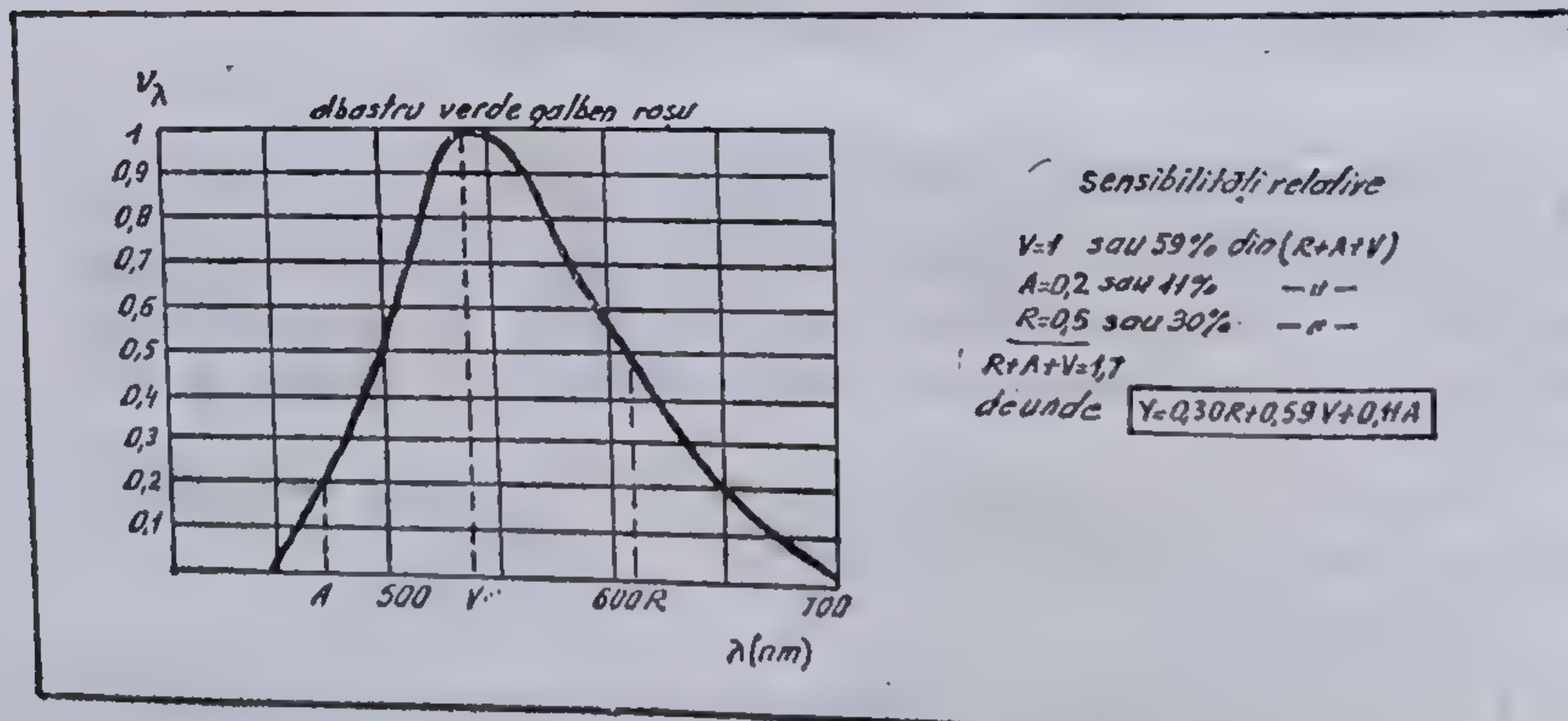
Pentru albastru :

$$0,2 : 1,7 = 0,11$$

Dacă vrem să obținem o luminanță Y care să corespundă sensibilității la culori a ochiului, trebuie să însumăm cele trei culori fundamentale, dozându-le astfel încât fiecare să apară în proporția rezultată din calculul nostru. Iată formula adoptată de toate sistemele de televiziune :

$$Y = 0,30 R + 0,59 V + 0,11 A.$$

Dacă vei transmite cele trei culori în această proporție, la recepție se vor obține aceleași culori și aceeași strălucire ca în cazul în care am privi direct imaginea de transmis.



Dacă intensitățile celor trei culori fundamentale sînt identice, însumarea lor în proporțiile din formulă va avea ca rezultat lumina albă. Dar dacă valorile R , V și A nu sînt egale, obținem diferite culori în funcție de dozajul culorilor fundamentale.

SEMNALELE CE SE TRANSMIT ÎN TELEVIZIUNEA ÎN CULORI

Cred că ai ajuns la concluzia că ipoteza ta e corectă, că în televiziunea în culori se transmit R , V și A și că luminanța corectă se obține prin dozarea culorilor după formula pe care ți-am arătat-o.

Ei bine, regret că te dezamăgesc, dar nu se procedează așa, pentru că un televizor în alb-negru nu va putea să reproducă imaginile transmise sub această formă. El nu conține circuite care să-i permită să dozeze și să însumeze după formula noastră semnalele R , V și A pentru a obține luminanța Y , singura pe care o poate reda televizorul.

Pentru a se asigura compatibilitatea, în toate sistemele de televiziune în culori, se transmite luminanța Y și numai două semnale, corespunzătoare culorilor fundamentale roșu și albastru. Mai exact se transmit semnalele numite *diferență de culoare*: $(R - Y)$ și $(A - Y)$.

Transmițîndu-se luminanța Y , imaginile sînt recepționate cu ușurință de televizoarele în alb-negru. Cum reușesc însă receptoarele color să redea cele trei culori, pentru că, la prima vedere, verdele nu este transmis?

Cele trei semnale recepționate sînt:

Y , $(R - Y)$ și $(A - Y)$.

Pentru a obține semnalele roșu și albastru este suficient să adăugăm semnalul de luminanță la fiecare din semnalele diferență de culoare:

$$(R - Y) + Y = R$$

$$(A - Y) + Y = A$$

Cum se obține însă V ? Să mai folosim puțin matematica.

Intrucît avem acum, în afară de Y , valorile R și A , îl putem deduce pe V din formula:

$$Y = 0,30 R + 0,59 V + 0,11 A$$

din care rezultă :

$$0,59 V = Y - 0,30 R - 0,11 A$$

Împărțind ambii membri cu 0,59 obținem :

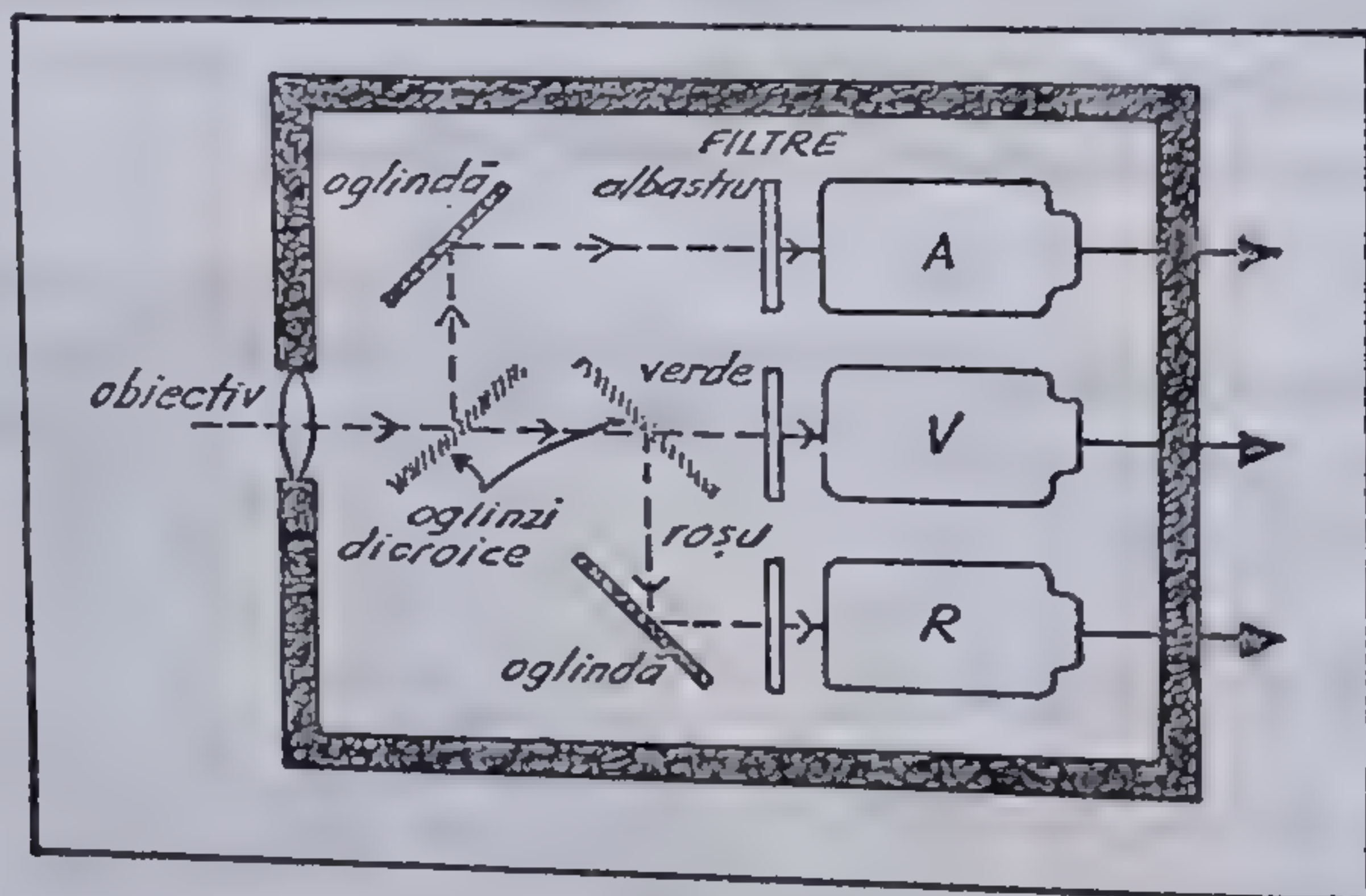
$$V = 1,7 Y - 0,51 R - 0,19 A$$

Constați deci că prin transmiterea luminanței Y și a semnalelor diferență de culoare ($R - Y$) și ($A - Y$) se poate reconstitui a treia culoare fundamentală V . Aceste sarcini complicate sînt îndeplinite de circuitele de *decodare* care există în receptoarele de televiziune în culori.

CAMERA DE TELEVIZIUNE ÎN CULORI

Să vedem acum, cum se transformă imaginea în semnalele corespunzătoare celor trei culori fundamentale R , V și A și în semnalul de luminanță Y . Nu este necesar să obținem separat acest ultim semnal, pentru că el poate fi realizat cu ajutorul primelor trei, amestecate în proporția de care ți-am vorbit.

Pentru a transforma fiecare din cele trei culori fundamentale într-un semnal electric, trebuie să folosim unul din tuburile analizoare pe care le cunoști. În fața fiecărui tub vom pune un filtru, adică o placă de sticlă colorată în roșu, în verde sau în albastru.



În camera de televiziune în culori, oglinzile trimit imaginea la trei tuburi, prin niște filtre care corespund celor trei culori primare.

Bineînțeles că imaginea transmisă de cele trei tuburi trebuie să vină de la un singur obiectiv. Cum este posibil acest lucru?

Obiectivul proiectează imaginea pe o primă *oglină dicroică* înclinată la 45° față de axul lui. Știi ce este, o oglindă dicroică? O placă de sticlă semitransparentă. Ea lasă să treacă jumătate din razele de lumină și reflectă cealaltă jumătate.

Razele reflectate ajung la o oglindă obișnuită care le trimite către primul tub analizor. Să presupunem că vom pune în față acestuia un filtru albastru.

Razele care au străbătut oglinda dicroică, întâlnesc în cale încă o oglindă dicroică care le separă din nou în două părți: partea reflectată ajunge la o oglindă obișnuită care o dirijează spre tubul echipat cu filtrul roșu; o altă parte străbate oglinda și ajunge la cel de al treilea tub printr-un filtru verde.

Iată cum reușește aceeași imagine să ajungă la trei tuburi și să producă semnalele corespunzătoare celor trei culori fundamentale.

Cea mai mare parte din camerele de televiziune în culori conțin cele trei tuburi pe care vi le-am descris. Există și camere care folosesc un al patrulea tub, fără filtru, care primește și el imaginea de la același obiectiv. În acest scop se utilizează încă două oglinzi dintre care una dicroică. Cel de al patrulea tub produce direct semnalul de luminanță.

În mod normal însă, semnalul Y se obține amestecând $0,30 R + 0,59 V + 0,11 A$, cu alte cuvinte semnalele celor trei tuburi prevăzute cu filtre, luate în proporțiile necesare.

TRANSMITEREA CELOR TREI SEMNALE

Te întrebi probabil, cum sînt emise cele trei semnale: luminanța Y și cele două semnale diferență de culoare ($R - Y$) și ($A - Y$) care se obțin punînd în opoziție cele două componente care se scad.

Prima idee, care îți va veni cu siguranță, ar consta în utilizarea a trei unde purtătoare, modulate fiecare cu cîte unul din cele trei semnale. Dar, procedînd astfel am ocupa o bandă foarte largă de frecvențe, lucru inadmisibil, deoarece de pe acum există o aglomerație foarte mare de emițătoare în benzile de frecvențe afectate televiziunii. Pe de altă parte, dacă am proceda așa, ar trebui să triplăm circuitele de intrare și amplificatoarele IF ale televizoarelor în culori, mărindu-le complexitatea și prețul.

Cum se transmit deci, cele două semnale diferență de culoare? Cu ajutorul unei *subpurtătoare*. Îți voi explica despre ce este vorba.

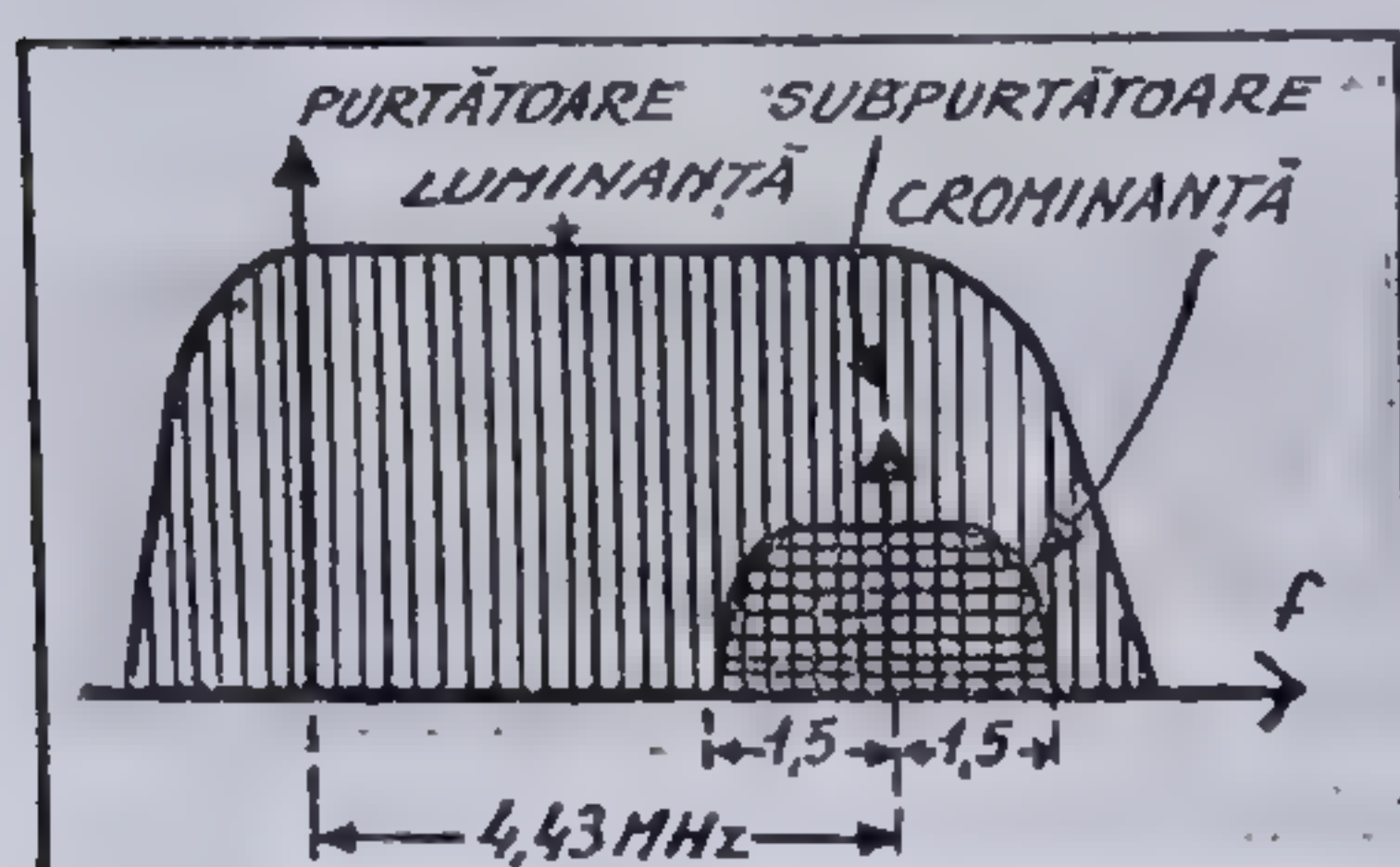
În televiziune, unda purtătoare este de ordinul zecilor și chiar sutelor de megahertzi. O modulăm în amplitudine cu un semnal de 4,43 MHz. Apar deci două frecvențe de 4,43 MHz de o parte și de alta a purtătoarei.

Îți amintești, desigur, că una din cele două benzi laterale este foarte atenuată. Deci subpurtătoarea va exista numai în banda laterală rămasă.

Această valoare de 4,43 MHz este adoptată pentru toate emisiunile europene în culori.

Care este rolul acestei subpurtătoare? Ea este cea care transmite cele două semnale diferență de culoare.

În sistemul american NTSC și în sistemul german PAL subpurtătoarea este la rîndul ei modulată în amplitudine de semnalele diferență de culoare. În sistemul francez SECAM subpurtătoarea este modulată în frecvență.



Zonele de frecvențe ocupate de semnalul care transmite luminanța și de semnalele care transmit crominanța.

Oricare ar fi procedeul de modulație, banda ocupată este limitată la 1,5 MHz. Prin urmare, în interiorul acelei zone întinse de frecvențe care apare în urma modulației purtătoarei de către semnalul de luminanță, există o porțiune de $2 \times 1,5$ MHz dispusă simetric în jurul subpurtătoarei.

Acest megahertz și jumătate înseamnă puțin față de banda frecvențelor video. Suficient însă pentru a transmite culoarea. N-ai uitat desigur că ochiul distinge cu mai puțină precizie, în cazul detaliilor fine, culoarea decât luminanța. Iar luminanța este transmisă și în televiziunea în culori la fel de bine ca și în alb-negru. Prin urmare, limitarea frecvențelor în domeniul culorii nu reduce calitatea imaginii care ajunge la telespectator.

N.T.S.C., SECAM, PAL

Cu siguranță că te întrebi cum poate această subpurtătoare să transporte singură două semnale independente (R — Y) și (A — Y). Metoda utilizată reprezintă chiar particularitatea prin

care se deosebesc cele trei sisteme de televiziune în culori utilizate azi în lume.

Cel mai vechi este sistemul *NTSC* (*National Television System Comitee*) realizat de o echipă de ingineri de la firma americană Hazeltine sub conducerea lui Charles Hirsch. Soluția folosită constă în defazarea celor două semnale modulatori cu un sfert de perioadă. În acest scop unul din semnale este întârziat față de cel de al doilea.

SECAM inventat în 1956 de Henri de France (numele îi indică destul de clar naționalitatea) își trage numele de la prescurtarea denumirii franceze a principiului său de funcționare: transmitere *secvențială a culorilor cu memorie*. Acest procedeu transmite alternativ cele două semnale de culoare. Pe durata unei linii, subpurtătoarea e modulată în frecvență de (R — Y), iar în timpul liniei următoare de (A — Y). La recepție — oricât de extraordinar ți se va părea — se restabilesc cele două culori pentru fiecare linie.

În sfârșit sistemul *PAL* (*Phase Alternation Line*) a fost creat de inginerul german dr. Walter Bruch care l-a pus la punct în 1963 în laboratoarele Telefunken. El constituie într-o oarecare măsură o sinteză a sistemelor *NTSC* și *SECAM*.

Este regretabil că nu s-a adoptat un sistem unic în lume. Dar pentru că ai văzut cât sînt de diferite normele adoptate de diferite țări pentru televiziunea în alb-negru, cred că nu te mai surprinde existența a trei sisteme deosebite pentru televiziunea în culori.

Convorbirea a 19-a

Receptoarele de televiziune în culori

În cursul acestei convorbiri, Curiosus îi explică prietenului său structura și funcționarea tuburilor pe al căror ecran apar imaginile în culori. El explică apoi diversele procedee utilizate pentru a transmite pe o singură subpurtătoare cele două semnale diferență de culoare.

TELEVIZORUL ÎN CULORI CONCEPUT DE IGNOTUS

IGNOTUS : Astăzi, dragă prietene, cred că ne vom inversa rolurile. Aș vrea să-ți explic eu cum se recepționează imaginile de televiziune în culori.

CURIOSUS : Ai citit vreo lucrare care tratează acest subiect ?

IGNOTUS : Nu. Dar m-am gândit la explicațiile pe care mi le-a dat unchiul tău, cu privire la emisiunile de televiziune în culori și am înțeles cu ușurință cum sînt reconstituite imaginile în culori la recepție.

Și aici, ca în mai toate domeniile fizicii, putem folosi principiul inversiunii fenomenelor. Receptorul conține trei cinescoape. Intensitatea fasciculelor electronice și, prin urmare, iluminarea ecranelor este comandată de semnalele R, V, A obținute prin decodare și aplicate pe grilele Wehnelt ale cinescoapelor.

Unul din tuburi va reda în consecință, partea roșie a imaginii, cel de al doilea — partea verde, iar ultimul — partea albastră. În fața flecărilor tub este plasat un filtru pentru trecerea culorii corespunzătoare. Cele trei imagini sînt suprapuse cu ajutorul unor oglinzi obișnuite și dicroice și apoi sînt proiectate printr-un obiectiv pe un ecran pe care apare, reproducă fidel, imaginea colorată.



Structura sistemului de tuburi, filtre și oglinzi este identică cu cea pe care a desenat-o unchiul tău pentru camera de televiziune în culori. Este suficient să inversăm sensul săgeților pentru a obține reprezentarea sistemului de redare. Am dreptate?

TUBUL TRICROM CU MASCĂ PERFORATĂ

CURIOSUS : Îmi pare rău că te dezamăgesc, dar un asemenea televizor n-a fost utilizat niciodată în practică. Complexitatea, volumul prea mare și costul foarte ridicat al aparatului propus de tine, n-ar fi permis să se construiască milioanele de televizoare în culori, existente azi în lume.

În toate aceste televizoare, imaginea este reconstituită cu ajutorul unui singur tub catodic. Cel mai răspândit tip de cinescop pentru imagini în culori conține trei tunuri electronice.

IGNOTUS : Recunosc că nu m-am gândit la această posibilitate. Desigur, fiecare din cele trei tunuri produce câte una din cele trei imagini specifice tricromiei. Pe grilele Wehnelt ale celor trei tuburi se aplică câte unul din semnalele R, V și A. Dar cum se reconstituie fiecare culoare? Se folosesc cumva filtre speciale?

CURIOSUS : Nu. Chiar ecranul luminiscent al tubului radiază cele trei culori fundamentale. El este compus dintr-un număr uriaș de puncte luminiscente numite *luminofori*, grupate câte trei. Fiecare grupă — sau *triadă* — conține trei luminofori: unul radiază lumină roșie, al doilea — verde; al treilea — albastră.

IGNOTUS : Câte triade sînt pe ecranul tubului?

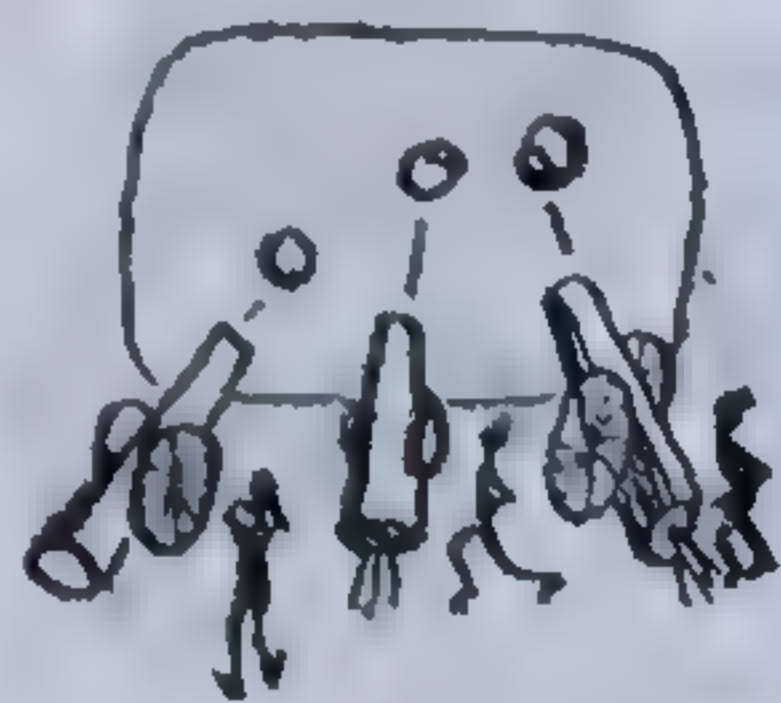
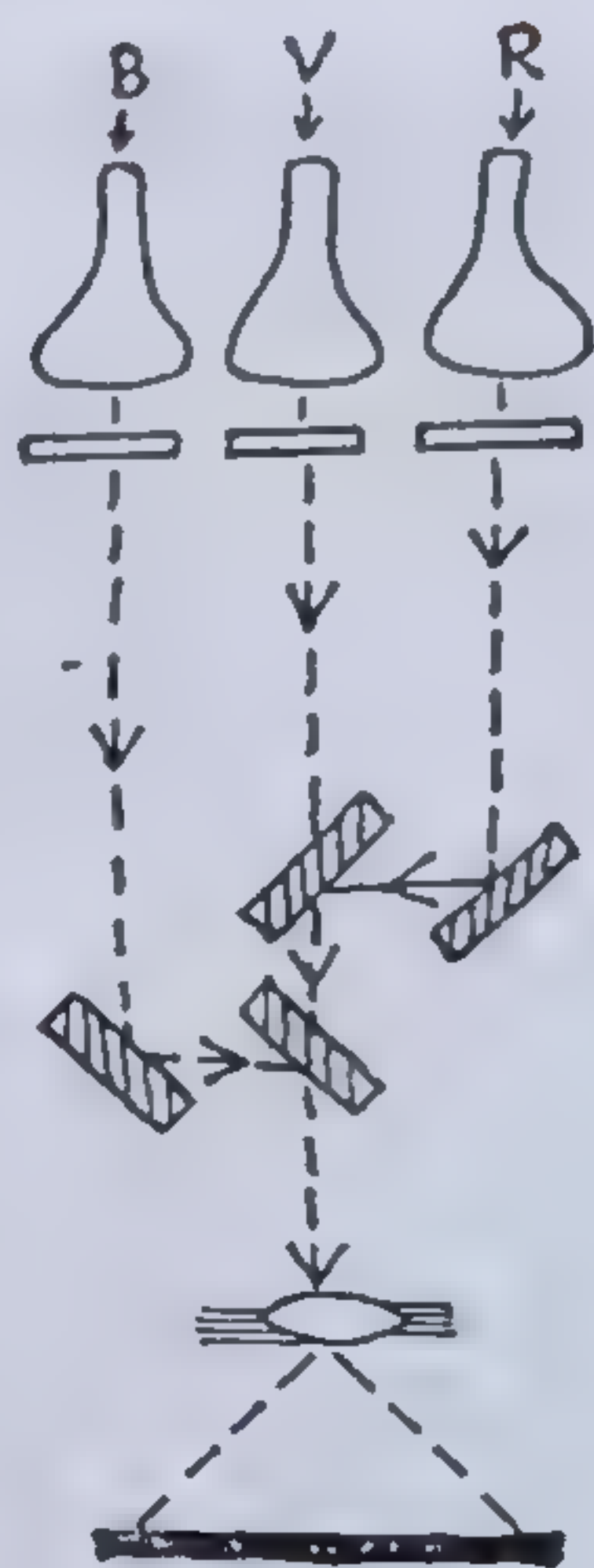
CURIOSUS : În jur de 400.000

IGNOTUS : Formidabil! În aceste condiții ecranul conține 1 200 000 de luminofori. Ce diametru are un astfel de element?

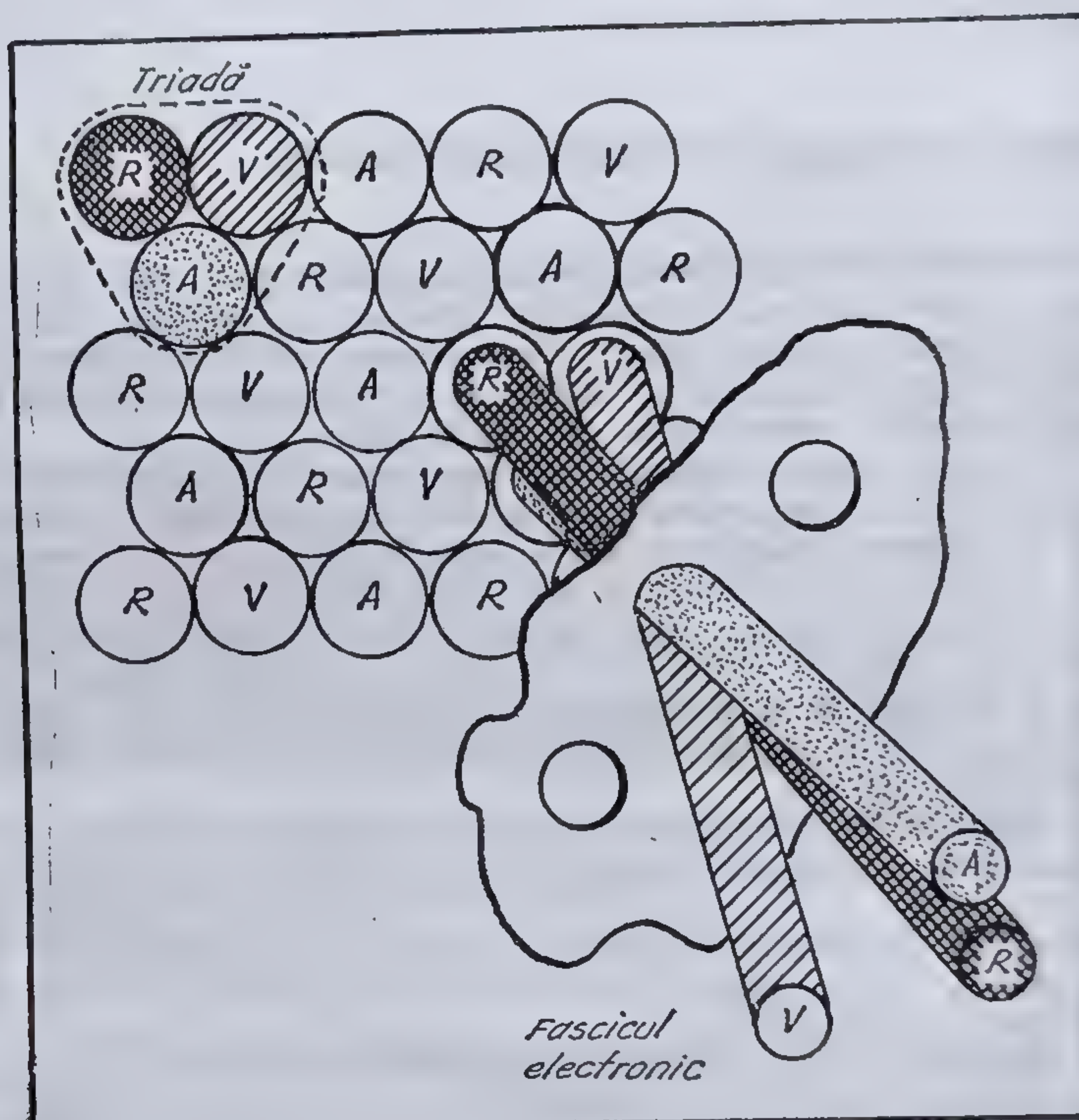
CURIOSUS : Puțin peste 0,4 mm.

IGNOTUS : Cam mic. Cum se realizează proiectarea precisă a fiecărui fascicul electronic pe luminoforul care are culoarea corespunzătoare? Cu alte cuvinte, vreau să întreb cum se face că toți luminoforii roșii sînt explorați numai de fasciculele de electroni sosiți de la tunul pe a cărui grilă Wehnelt se aplică semnalul R, cum sînt bombardati luminoforii verzi numai de tunul comandat de V și luminoforii albaștri, numai de tunul la care ajunge semnalul A.

CURIOSUS : La 15 mm în spatele ecranului se pune o placă de oțel numită *maskă* în care sînt practicate atîtea perforații



cîte triade sînt pe ecran. Fiecare perforație are diametrul de un sfert de milimetru și este plasată în dreptul centrului fiecărei triade.



Traseul celor trei fascicule electronice care ajung pe luminoforii unei triade, traversînd o singură perforație a măștii.



IGNOTUS : Cum sînt așezate cele trei tunuri electronice în tub ?

CURIOSUS : În jurul axului tubului, la egală distanță unul de altul.

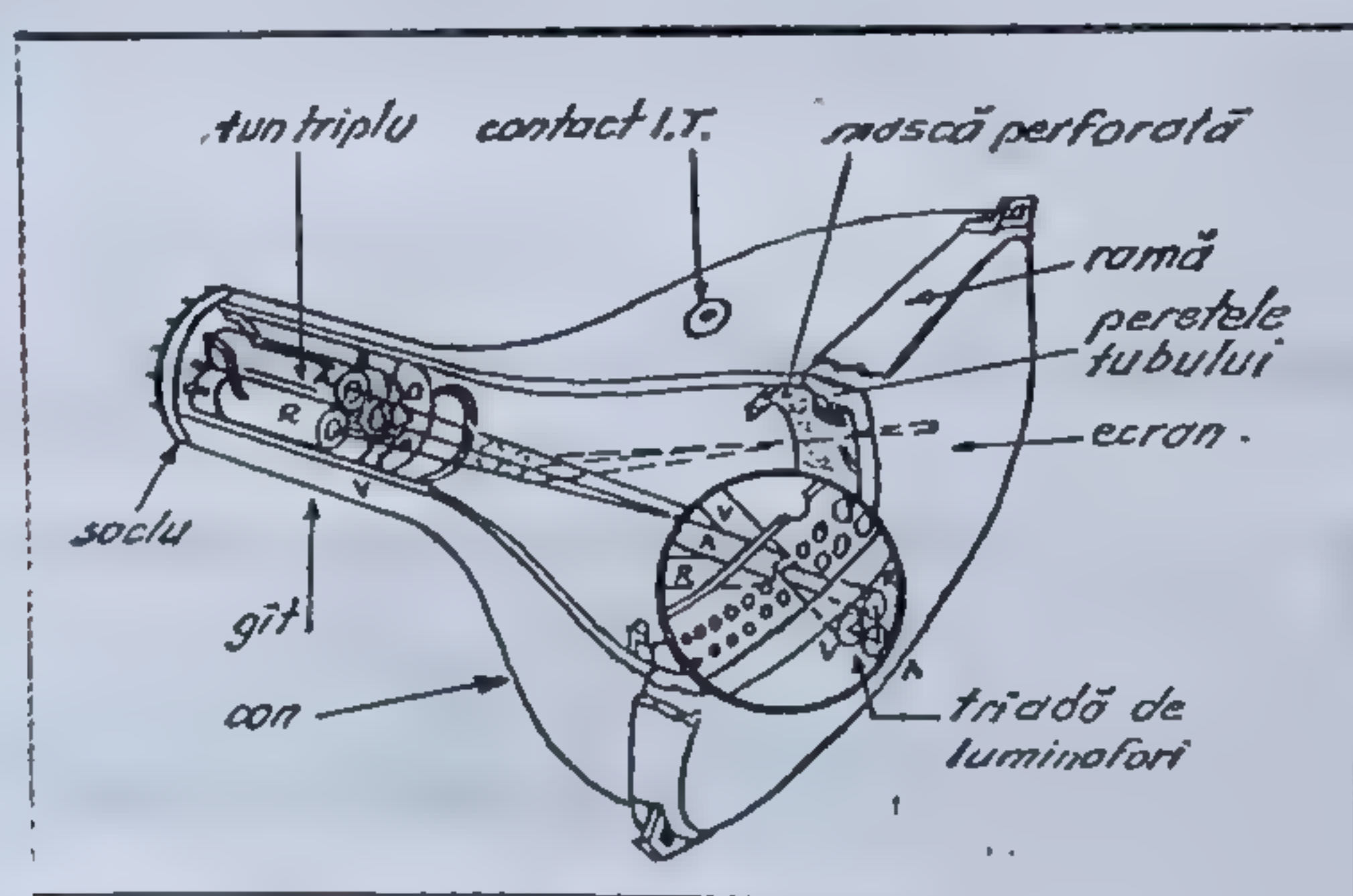
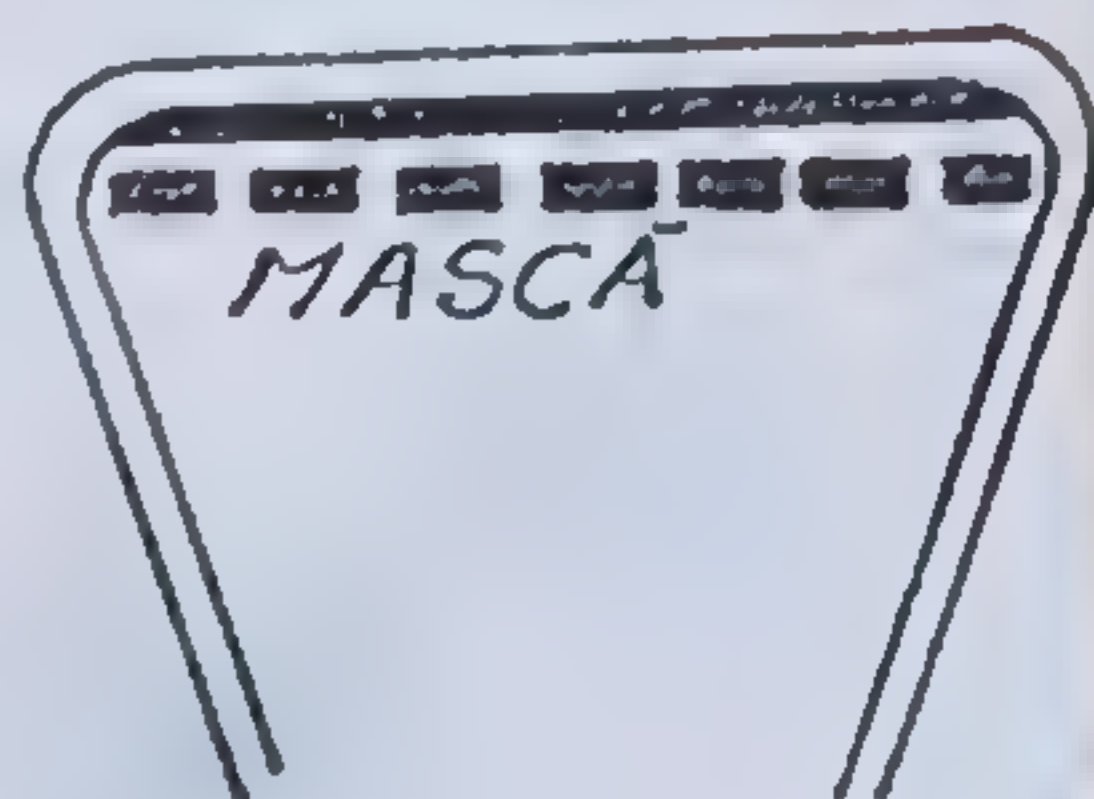
IGNOTUS : Am înțeles. Tunul R (adică tunul pe a cărui grilă Wehnelt se aplică semnalul R) nu „vede” prin perforațiile măștii decît luminoforii roșii. La fel fasciculul „verde” ajunge numai la luminoforii verzi, iar cel albastru, numai la luminoforii albaştri.

CURIOSUS : Bravo, Ignotus. Ai înțeles foarte bine rolul măștii care realizează legăturile luminoforilor de o anumită culoare numai cu tunul electronic respectiv.

În practică, fiecare fascicul de electroni are un diametru mult mai mare decât perforațiile; el va trece deci prin mai multe găuri învecinate deodată, ajungând totuși numai pe luminoforii de o anumită culoare.

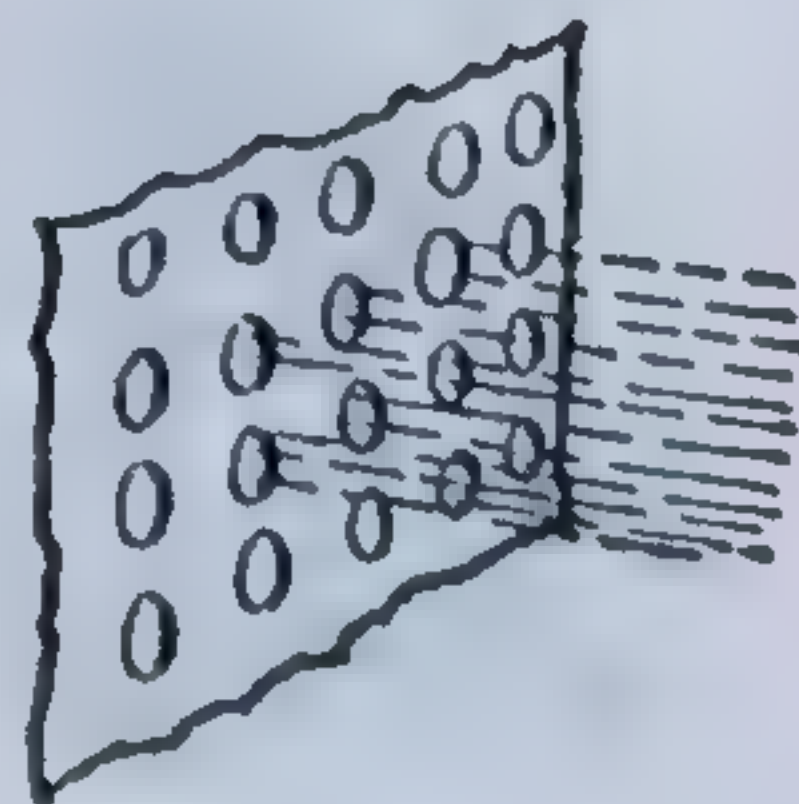
IGNOTUS : În aceste condiții, cred că o mare parte din electronii fiecărui fascicul nu reușesc să treacă prin perforații și rămân pe mască. Am dreptate ?

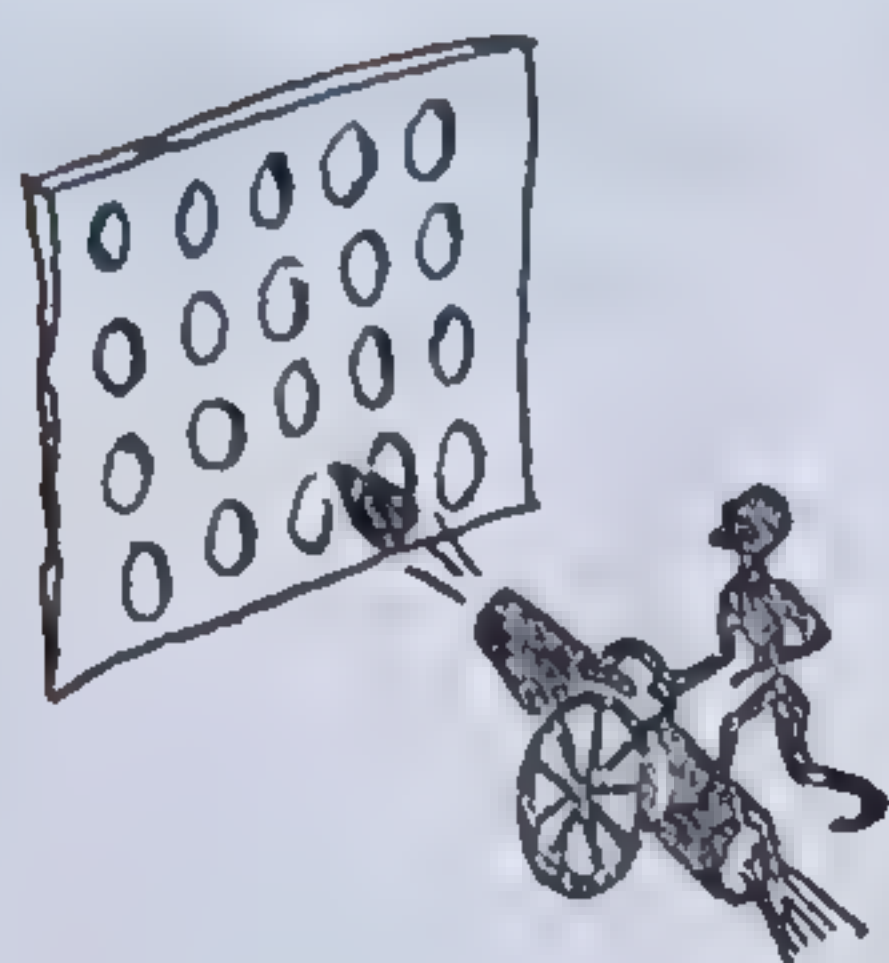
CURIOSUS : Din păcate, da. Acesta este unul din marile inconveniente ale acestui tip de tub. Aproximativ 80% din electroni sînt opriți de mască. Ciocnindu-se de ea, electronii determină o încălzire și prin urmare o dilatare a măștii. Cea mai mică deplasare a perforațiilor poate duce la alternarea culorilor, căci fasciculele riscă să ajungă pe luminoforii care corespund altor semnale. Pentru evitarea acestui pericol se iau o serie de precauțiuni.



Structura unui cinescop tricrom cu mască perforată

Pe de altă parte, faptul că numai o cincime din electronii emiși ajung pe luminofori ar putea duce la o luminozitate scăzută a ecranului. Pentru a mări luminozitatea, se aplică pe anodi tensiuni mult mai mari decât la cinescoapele în alb-negru. Se ating valori de 25.000 de volți care reușesc să accelereze suficient electronii pentru a asigura o luminozitate satisfăcătoare.





ÎNALTĂ PRECIZIE

IGNOTUS : Cele trei fascicule explorează, probabil, simultan liniile. Vreau să zic că electronii ajung, prin găurile măştii, în acelaşi timp pe luminoforii respectivi şi că pe ecran apar simultan cele trei culori fundamentale.

CURIOSUS : Exact. Acest fapt permite reconstituirea culorilor, pentru că în ochiul nostru luminoforii învecinaţi se confundă.

IGNOTUS : Precizia pe care o solicită realizarea unui tub cu mască este de-a dreptul formidabilă. Pentru ca fasciculele de electroni, emise de fiecare din cele trei tunuri, să ajungă numai pe luminoforii care au culoarea corespunzătoare, cele 400.000 de găuri şi cele 1.200.000 de puncte luminoase trebuie să fie aşezate cu o precizie extraordinară... Fasciculele trebuie să fie ferite de orice acţiune care ar putea să le devieze. Mă întreb dacă artileria dispune de piese cu tir atât de precis ca tunurile cinescoapelor cu mască. După câte ştiu, traiectoria proiectilelor este influenţată de gravitaţia terestră. Electronii din fascicule nu sînt deviaţi şi ei din drum de cîmpul magnetic al pămîntului ?

CURIOSUS : Ba da. Dar pentru a evita acest efect tuburile cu mască sînt ecranate.

CINESCOPUL CU GRILĂ DE POSTFOCALIZARE

IGNOTUS : Nu există vreun mijloc de a construi un cinescop pentru recepţia în culori, fără această mască care reţine cea mai mare parte din electroni ? După părerea mea, trebuie găsit un procedeu care să permită orientarea fasciculiului emis de fiecare din cele trei tunuri către luminoforul respectiv, fără obstacole de genul măştii.

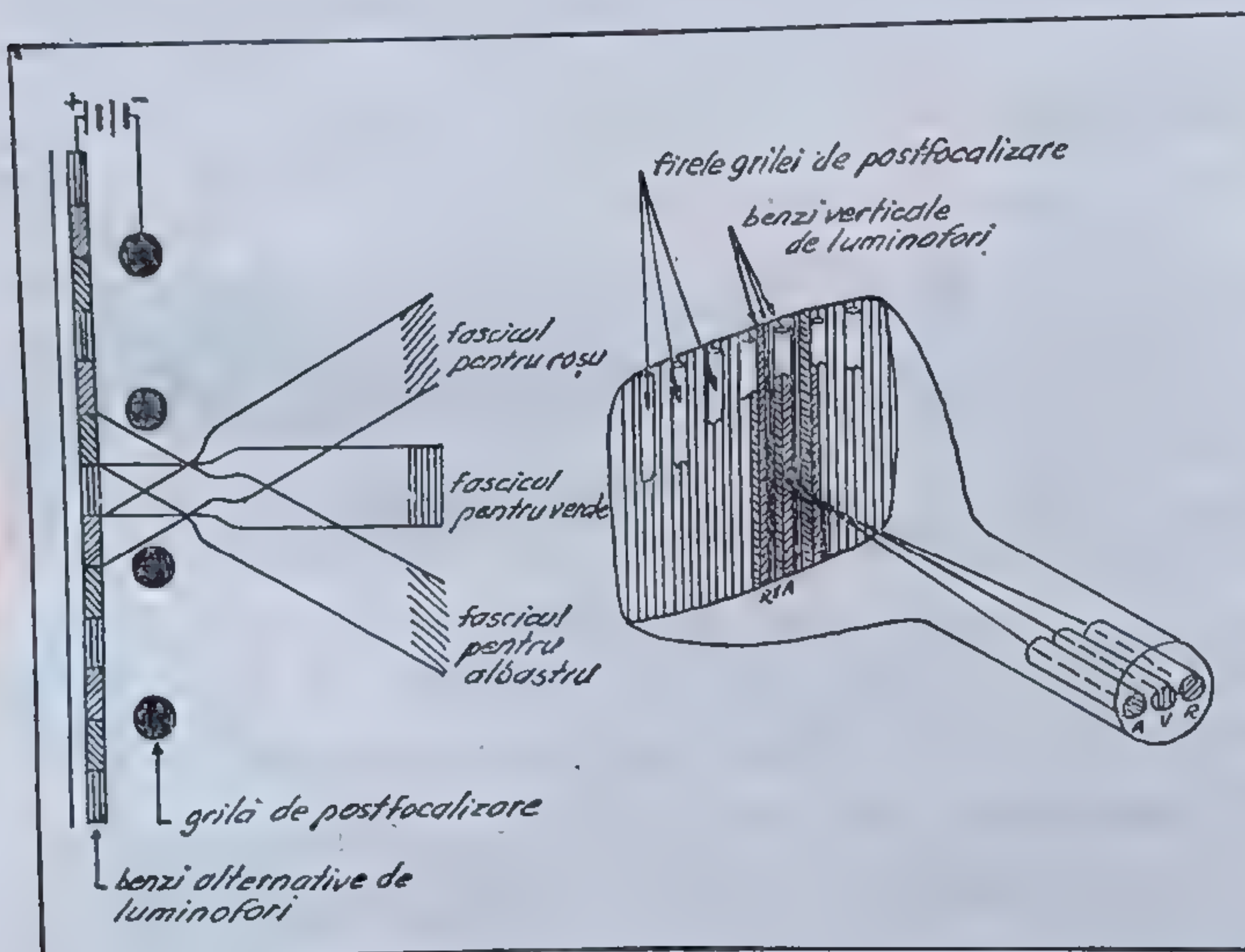
CURIOSUS : Au trecut ani de cînd au început să se facă cercetări orientate în acest sens. Soluţia cea mai bună pare să o ofere cinescopul cu grilă, a cărui experimentare a dus la rezultate pozitive.

În acest tub numit şi *chromatron*, se succed pe toată suprafaţa ecranului benzi foarte fine de luminofori roşii, verzi şi albaştri. În spatele ecranului se află o grilă din fire foarte subţiri, aşezate între benzile albastre şi roşii. Benzile verzi rămîn deci descoperite.

IGNOTUS : Dar aceste fire nu constituie, pentru electroni, un obstacol care îi reţine ca şi masca ?



CURIOSUS : Nu, căci grila este pusă la un potențial mult mai scăzut decât ecranul, care reușește în acest fel să atragă toți electronii emiși de cele trei tunuri electronice alăturate. Datorită diferenței de potențial față de ecran, grila asigură o îmbunătățire a focalizării fiecăruia din fasciculele dirijate către banda respectivă de luminofor.



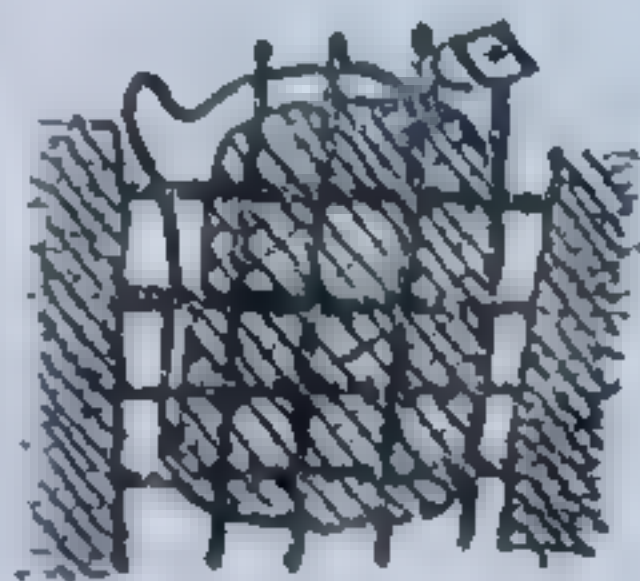
Structura chromatronului; fasciculele de electroni trec printr-o grilă.

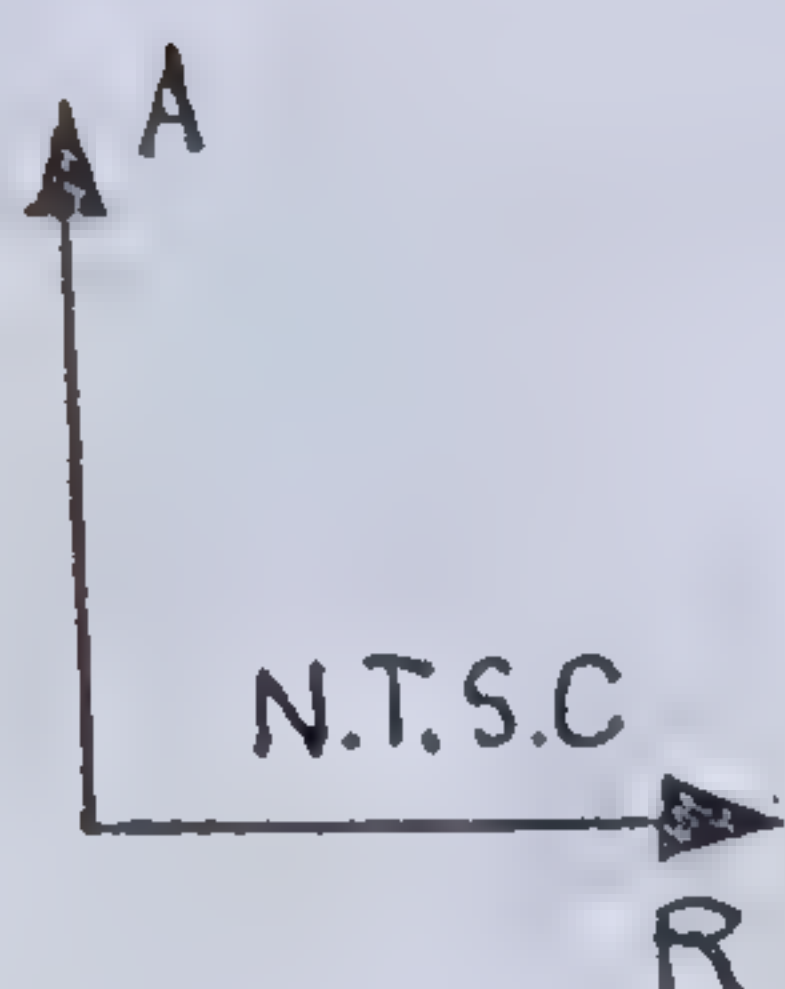
IMAGINI ALB-NEGRU PE UN CINESCOP PENTRU RECEPȚIE ÎN CULORI

IGNOTUS : Nu-i rău sistemul... Desigur că oferă o luminozitate mult mai bună decât tubul cu mască.

Aș vrea să te rog acum să-mi mai explici ceva. Nu mă miră că putem recepționa emisiuni în culori pe televizoare alb-negru pentru că unda purtătoare este modulată de semnalul de luminanță Y. Dar cum se asigură cel de al doilea aspect al compatibilității, care prevede posibilitatea de a recepționa pe receptoare pentru televiziune în culori, emisiuni în alb-negru?

CURIOSUS : Cît se poate de simplu. Același semnal video se trimite la grilele Wehnelt ale celor trei tunuri electronice.

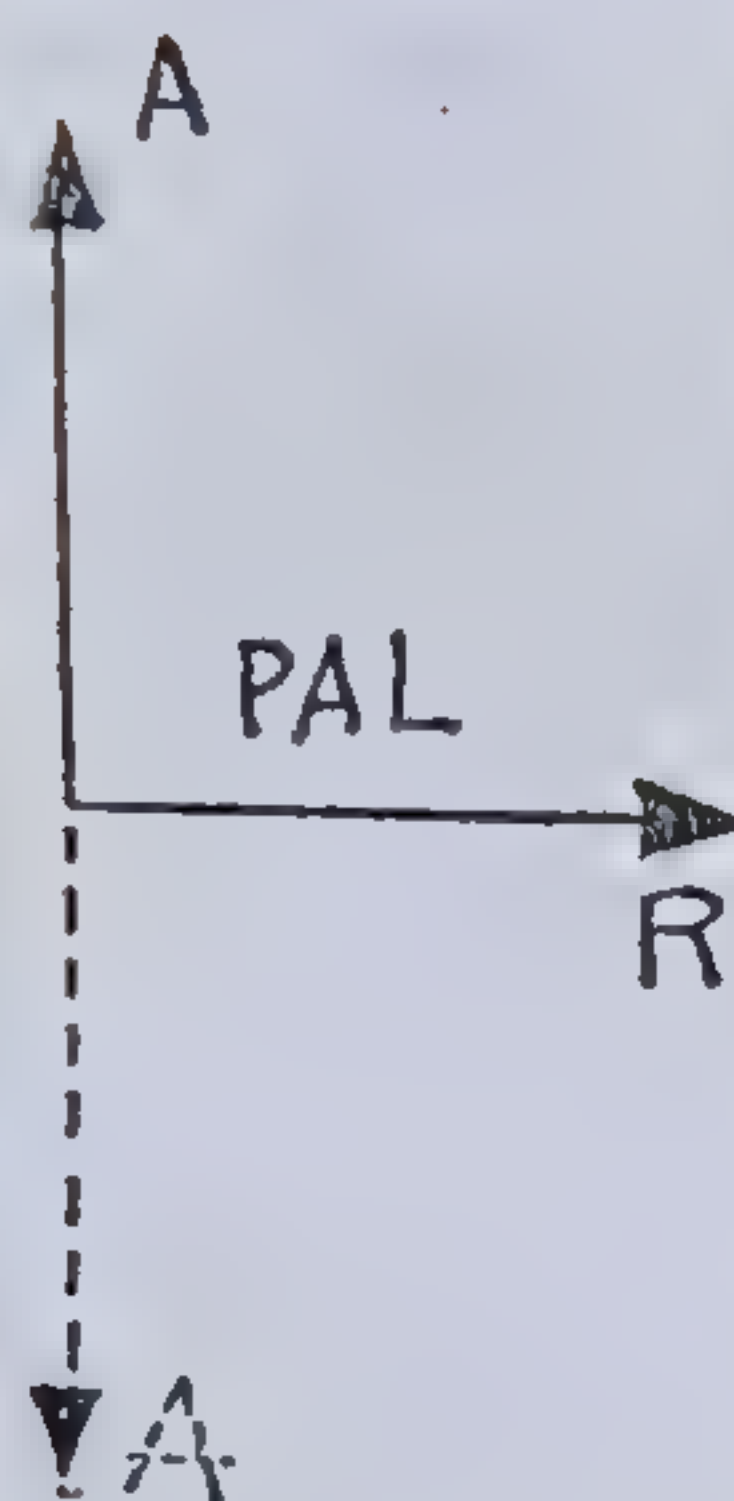




Înainte de a ajunge la grila respectivă, semnalul trece printr-un circuit care îl reduce în proporția cerută de culoarea căreia îi corespunde grila.

Deci, luminoforii corespunzători celor trei culori luminează cu intensități care respectă relația $0,30 R + 0,59 V + 0,11 A$. Cred că n-ai uitat că, în aceste condiții, suma celor trei culori este o lumină albă, mai mult sau mai puțin puternică.

NTSC ȘI PAL



IGNOTUS : Sînt într-o totală admirație față de tot ce s-a făcut în acest domeniu atît de complex care este televiziunea în culori. Acum aș vrea să aflu prin ce minune pot fi transmise pe o singură subpurtoare două semnale diferite : (R — Y) și (A — Y)

CURIOSUS : Procedeele utilizate în acest scop constituie de fapt principala deosebire dintre cele trei sisteme de televiziune în culori folosite în prezent.

În cel mai vechi dintre ele, sistemul NTSC, cele două semnale modulează subpurtoarea în amplitudine și sînt defazate între ele cu un sfert din perioada subpurtoarei. La recepție apar uneori variații ale fazei care produc o distorsionare a culorilor.

Acest defect este eliminat cu multă ingeniozitate în sistemul PAL, în care purtoarea este de asemenea modulată de cele două semnale defazate cu un sfert de perioadă, dar unuia din ele i se inversează alternativ faza în ritmul frecvenței liniilor, astfel încît el este o dată avansat și o dată întîrziat, față de celălalt semnal.

IGNOTUS : Dar sistemul SECAM ce procedeu de defazaj utilizează ?

PRINCIPIUL SISTEMULUI SECAM

CURIOSUS : Niciunul. Acest sistem este complet diferit de celelalte două, care transmit semnalele de culoare simultan ; în SECAM ele sînt transmise alternativ : în timpul unei linii se transmite (R—Y), iar în timpul liniei următoare se transmite (A—Y).

Fiecare din aceste semnale modulează în frecvență subpurtoarea, astfel că distorsiunile de fază și de amplitudine nu influențează culoarea imaginii.

IGNOTUS : Nu mi se pare grozavă soluția. Dacă în timpul unei linii, nu se transmite decât unul din cele două semnale de culoare, rezultă că pe ecran va apare o alternanță de linii roșii și albastre. Nu cred că mi-ar place o astfel de imagine.

CURIOSUS : Liniștește-te, Ignotus. Pe fiecare linie de pe ecranul receptorului se folosesc toate cele trei tipuri de luminofori. Cum este posibil ? Cu ajutorul unei „memorii” care păstrează semnalul de crominanță al liniei precedente pe toată durata liniei următoare. În acest fel, de exemplu, se păstrează semnalul de crominanță „roșu”, în timp ce se recepționează semnalul „albastru”.

IGNOTUS : Mărturisesc că nu înțeleg rostul acestei „memorii”.

CURIOSUS : Datorită ei apar pe ecranul televizorului variații identice ale cîte unei culori fundamentale (roșu sau albastru) pe două linii explorate succesiv. Astfel, în timp ce emițătorul transmite numai semnalul (R—Y) care comandă luminoforii roșii de pe o linie, „memoria” inclusă în televizor comandă pe aceeași linie, luminoforii albaștri, imprimîndu-le aceleași variații ca în linia precedentă, atunci cînd se recepționa numai semnalul (A — Y).

IGNOTUS : Încep să înțeleg. Dar mă întreb în ce măsură putem admite să avem aceleași variații ale unei culori în două linii succesive.

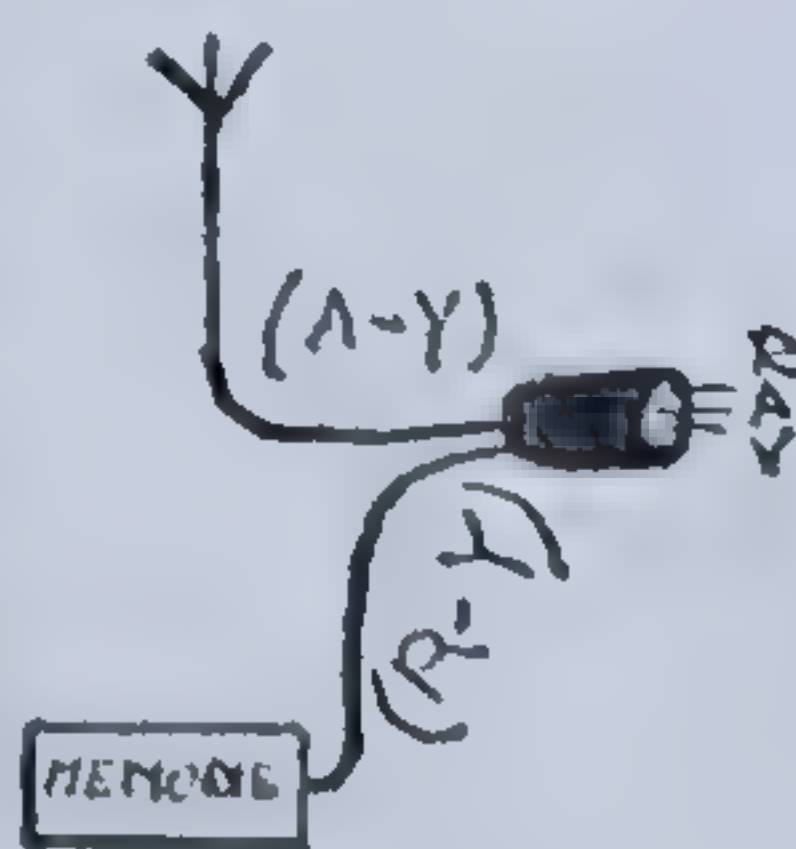
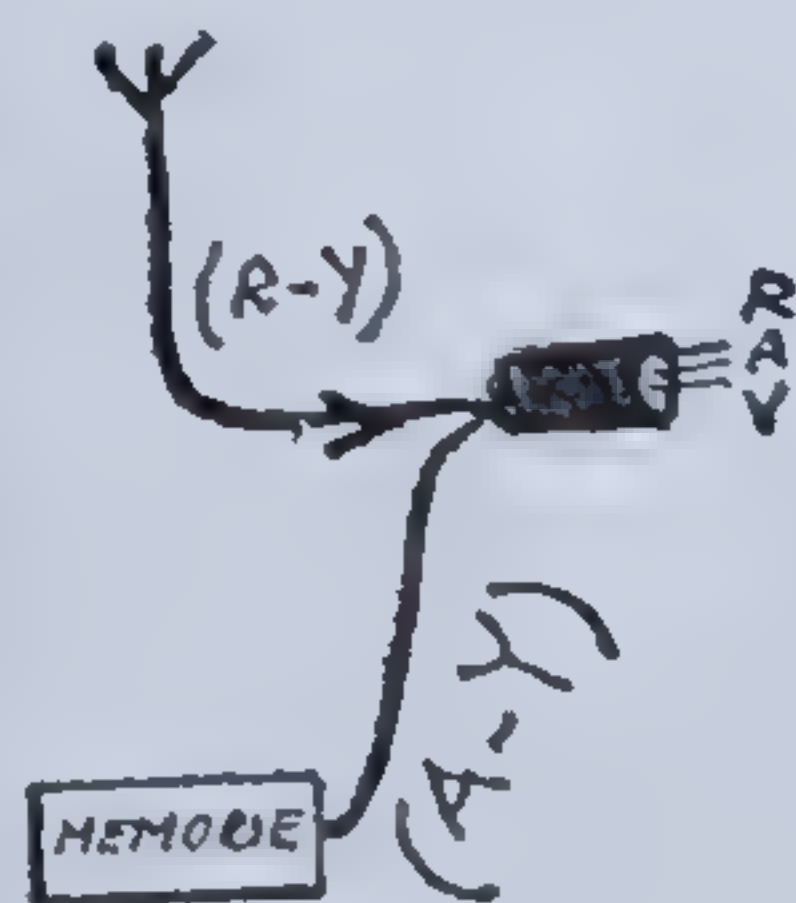
CURIOSUS : Calitatea imaginii nu suferă din această cauză, deoarece culorile sînt percepute de ochiul omenesc cu o precizie mai mică decât luminanța.

IGNOTUS : Deci, dacă am înțeles bine, lucrurile se petrec în felul următor :

În timp ce este emis, semnalul (R—Y) comandă grila Wehnelt a tunului electronic corespunzător. În același timp „memoria” comandă fasciculul care explorează, în aceeași linie, luminoforii albaștri. În timpul liniei următoare, se recepționează semnalul (A—Y) care comandă tunul electronic A. „Memoria” a păstrat însă semnalul (R—Y), astfel că luminoforii roșii au aceeași intensitate luminoasă ca în linia precedentă.

CURIOSUS : Te felicit. Ai înțeles perfect funcționarea „memoriei” în sistemul SECAM.

Se poate spune acum că îți sînt cunoscute, în linii mari, principiile de funcționare ale televiziunii în culori. În realitate, structura studiourilor, emițătoarelor și receptoarelor este mult mai complexă decât cea pe care ți-am expus-o eu schematic. Nu e cazul să intrăm în amănuntele construcției și funcționării lor. Dacă te interesează aceste probleme, îți vei îmbogăți cunoștințele citind lucrări de specialitate.



Profesorul Radiol descrie

Înregistrarea și redarea sunetului și imaginii

Electronica permite să se transforme undele sonore sau luminoase în vibrații mecanice, în variații de luminanță sau în cîmpuri magnetice variabile. Sub această formă, ele pot fi înregistrate, iar prin intermediul transformării inverse pot fi redade sunetele și imaginile păstrate. În continuare sînt expuse diverse procedee de înregistrare și redare.

Pînă acum am studiat numai metodele de transmitere a sunetelor și imaginilor în cele trei dimensiuni ale spațiului. Datorită radioului și televiziunii putem auzi și vedea ce se petrece departe de noi, în alte orașe, în alte țări, în alte continente și chiar pe alte corpuri cerești.

Dar sunetele și imaginile pot fi transmise și în cea de a patra dimensiune : în timp. Este surprinzător să constatăm că problema transmiterii imaginilor în timp a fost rezolvată cu mult înainte de apariția electronicii. Încă în 1829 Niepce și Daguerre au realizat primele fotografii, transmițînd astfel imagini fixe în timp. Cît despre înregistrarea și reproducerea imaginilor în mișcare, ele au fost realizate de frații Lumière, creatorii cinematografului.

TREI TIPURI DE TRANSFORMĂRI

Astăzi există multe procedee care permit să se înregistreze și să se redea sunetul. Fiecare din ele se bazează pe transformarea curentului electric variabil în variații de altă natură, care pot fi păstrate cu ușurință și reconvertite în variații de curent electric.

Prin urmare, curentul pe care îl produce microfonul și care reprezintă sunetele ce trebuie să fie înregistrate este transformat și păstrat. El poate fi reprodus pentru a reconstitui, cu ajutorul unor difuzoare sau a unor căști, sunetele înregistrate.

Care sînt principalele tipuri de transformări utilizate? Transformările mecanice, optice și magnetice. După cum știi, Ignotus, curentul variabil se transformă cu ușurință în vibrații mecanice; acesta este principiul difuzorului. Putem transforma de asemenea variațiile de curent în variații de lumină. Și, cred că nu mai este necesar să-ți amintesc cum sînt generate cîmpurile magnetice de către curentul electric.

Vom examina, deci, aceste trei sisteme de înregistrare și de redare a sunetului.

STRĂMOȘII APARATELOR MODERNE DE REDAT DISCURI

Procedeul mecanic de transmitere a sunetelor în timp s-a născut, de fapt, acum aproape un secol, deci înainte de apariția electronicii. În anul 1878 Edison a inventat fonograful. În acest strămoș al picupului modern, înregistrarea se făcea pe un cilindru acoperit cu un strat subțire de cositor. Cilindrul se rotea, înaintînd, în același timp, de-a lungul axului său filetat.

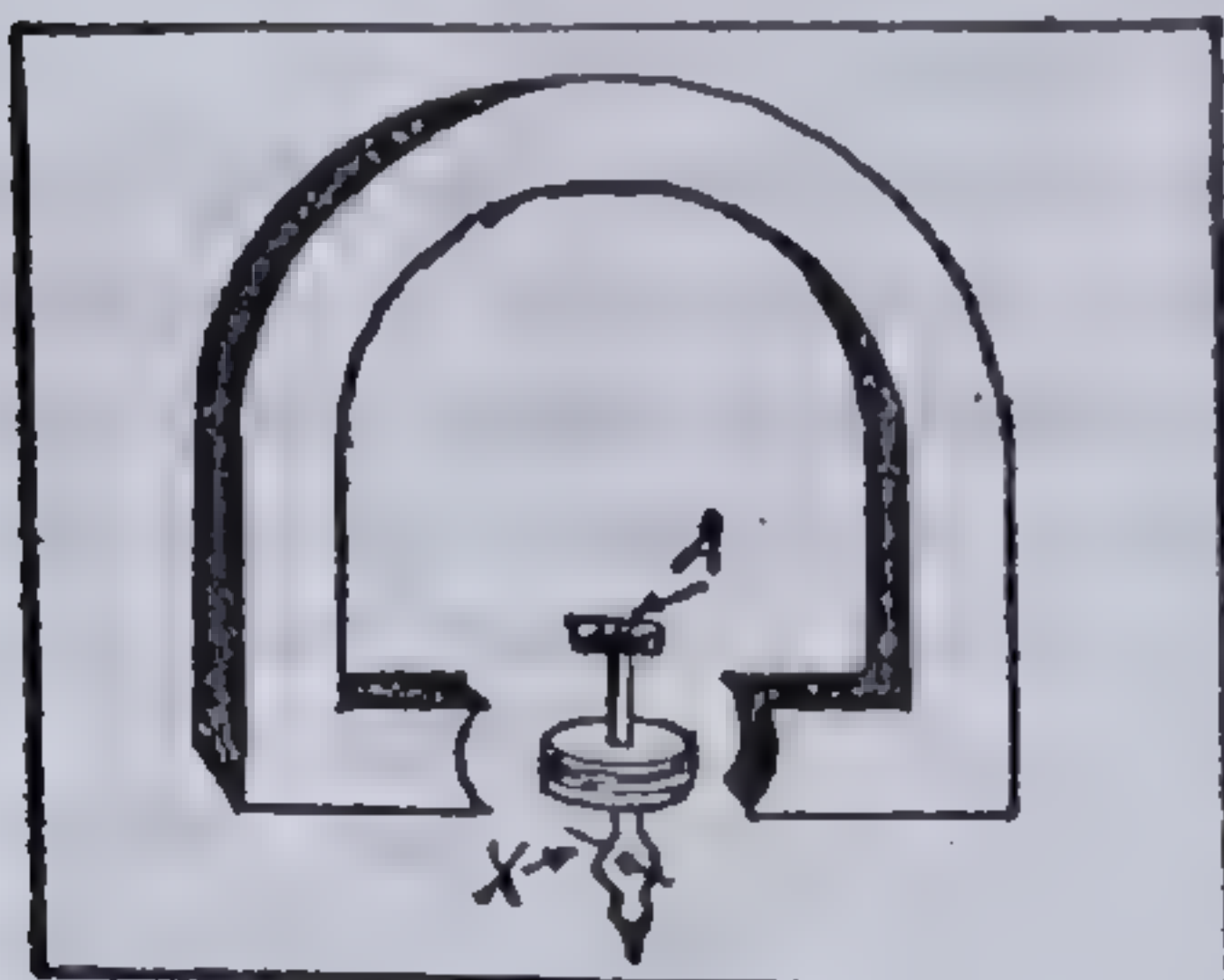
Sunetele ce trebuiau înregistrate erau captate de o pîlnie mare de tablă, la capătul căreia se afla o membrană. Un ac fixat în centrul membranei, care vibra sub acțiunea undelor sonore, apăsa pe cilindru. Vibrațiile trasau pe cositorul de pe cilindru șanțuri de adîncime variabilă. Mișcarea de rotație combinată cu mișcarea de translație a cilindrului făcea ca traseul șanțurilor pe cilindru să fie o spirală.

Pentru a reda sunetele înregistrate, era necesar să se readucă acul la începutul șanțurilor și să se reînceapă rotirea cilindrului. Variațiile de relief produceau vibrații care, transmise membranei, dădeau naștere undelor sonore. Mai este nevoie să spun că acest sistem nu asigura nici pe departe o înaltă fidelitate?...

Calitatea fonografelor s-a îmbunătățit cînd cilindrii au fost înlocuiți cu discuri și, mai ales cînd, renunțîndu-se la imprimarea în adîncime, s-a recurs la mișcarea laterală a acului, adîncimea șanțului rămînînd constantă. Aceste discuri au fost construite pentru prima dată în 1889 de germanul Emile Berliner, care s-a bazat pe lucrările cercetătorului francez Léon Scott.

ÎNREGISTRAREA DISCURILOR

Dezvoltarea prodigioasă a electronicii a permis discului să devină un excelent mijloc de înregistrare și de redare a sunetului. La înregistrare, curentul generat de un microfon este amplificat și transmis apoi unui dispozitiv de gravare, construit pe baza aceluiași principiu ca și difuzorul. Dispozitivul se compune dintr-un magnet permanent între ai cărui poli se află un electromagnet ce poate vibra în jurul unui ax. În lipsa curentului, un elastic readuce electromagnetul în poziția de repaus. Când este străbătut de curentul de microfon, electromagnetul vibrează și acul fixat pe el trasează ondulații în șanțurile discului care se rotește sub mecanismul de gravare.



Fixat pe o tijă care poate vibra în jurul axului X și a cărei extremitate superioară este legată de un elastic A, bobinajul se află în câmpul de acțiune al unui magnet permanent.

Dacă prin bobinaj trece un curent electric care reproduce sunetele, vibrațiile tijei vor asigura înregistrarea discului cu ajutorul acului fixat la capătul inferior al tijei.

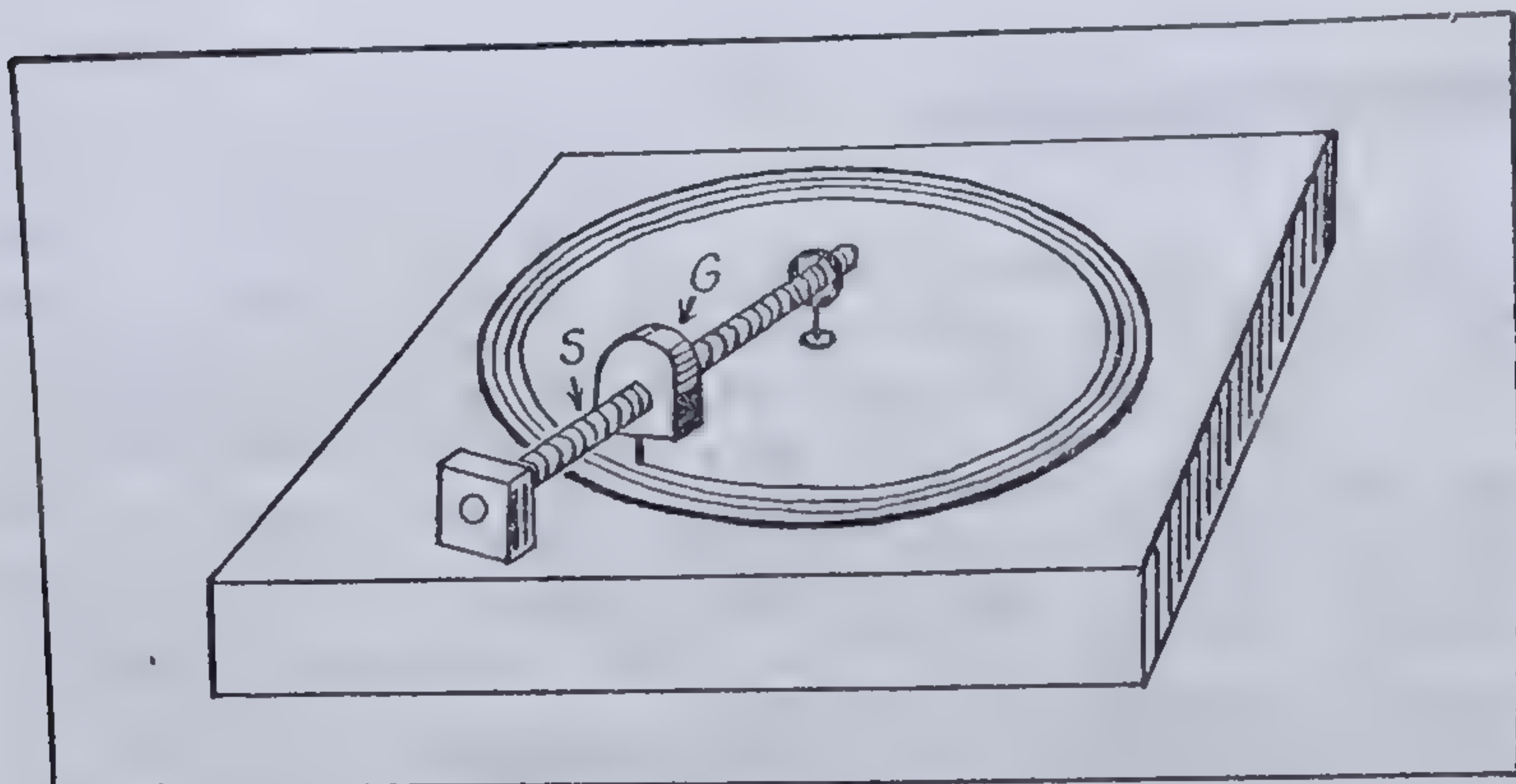
Procedeul este reversibil. Dacă tija este silită să vibreze prin rotirea unui disc pe care presează acul din capătul ei, în bobinaj ia naștere semnalul electric corespunzător.

Acul este fixat pe un șurub fără sfârșit, care îl deplasează încet către centrul discului. Discul pe care se face înregistrarea este o placă de metal acoperită cu un strat de ceară. Placa se învârtă cu 33 1/2 rotații pe minut. Această viteză se folosește pentru discurile mari, cu diametrul de 30 cm. Discurile mai mici au o viteză de 45 de rotații pe minut. Discurile vechi se înregistrează cu 78 de rotații pe minut.

Durata de redare a unui disc cu 33 1/2 rotații pe minut este de aproximativ o jumătate de oră. Această înseamnă că pe disc sînt trasate o mie de șanțuri distanțate între ele cu mai puțin de o zecime de milimetru.

În gravarea în suprafață a discurilor, numărul de ondulații pe unitatea de lungime determină frecvența sunetului, iar amplitudinea lor depinde de intensitatea sunetului.

Cred că îți dai seama și singur că ondulațiile corespunzătoare sunetelor de aceeași frecvență sînt cu atît mai strînse, cu



Antrenat de șurubul fără sfârșit S, acul de gravare G se deplasează de-a lungul razei unui disc intact de ceară.

cît diametrul șanțului e mai mic. Și totuși, pe discurile actuale se înregistrează frecvențe de 15.000 de Hz chiar pe șanțurile cele mai apropiate de centru.

FABRICAREA DISCURILOR

Acesta este modul de efectuare a înregistrării. Te întrebi probabil, cum se fabrică, pornind de la discul pe care se face înregistrarea, milioanele de discuri care se vînd publicului. În acest scop se face întâi o copie în cupru. Discul înregistrat se acoperă cu un strat subțire de praf de grafit (care este bun conducător de electricitate) și se introduce într-o baie care conține o soluție de sulfat de cupru. În fața discului se pune o placă de cupru.

Aplicînd o tensiune continuă între discul legat la polul negativ și placa de cupru conectată la polul pozitiv, se produce procesul numit *galvanoplastie*: din placă ies atomi de cupru, care se depun pe disc după o serie de reacții electrochimice complexe.

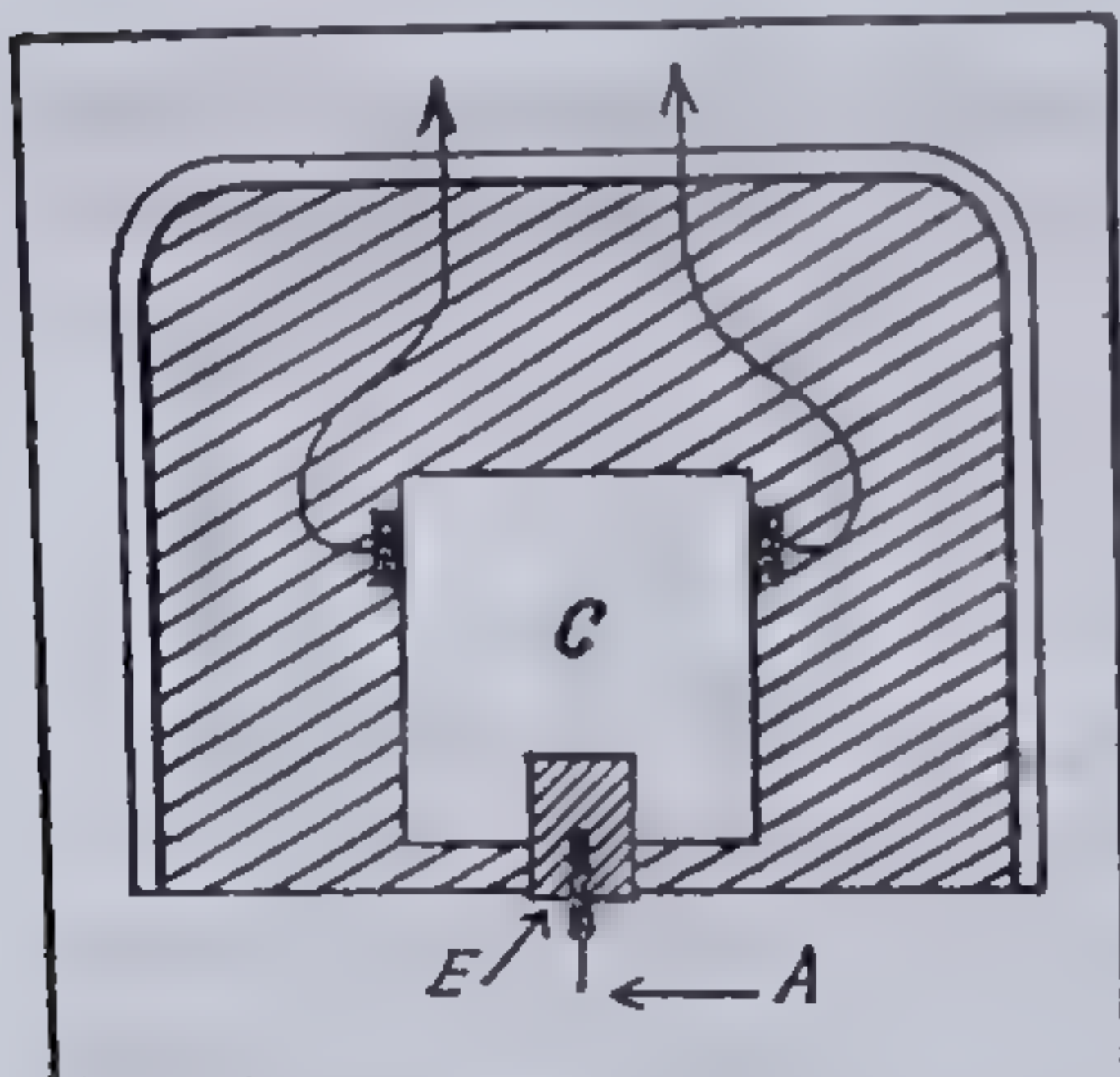
În acest fel se obține o copie inversă a discului numită „negativ”. Prin același procedeu al galvanoplastiei, plecînd de la această copie, se realizează o alta, de această dată pozitivă, adică similară cu discul original. Pe baza acestei copii pozitive se realizează alte copii negative care vor servi ca matrițe pentru fabricarea discurilor destinate publicului.

Acestea se obțin presînd plăci de policlorură de vinil pe discurile matriță, încălzite pînă la o temperatură suficient de ridicată pentru a înmoua plăcile, pe care se imprimă astfel șanțuri identice cu cele de pe discul original.

REDAREA DISCURILOR

Ai aflat cum se fabrică discurile. Sînt convins că îți dai seama cum sînt ele redat în aparatele de redat discuri. Inversiunea fenomenelor fizice este, pentru tine, un fenomen familiar.

Prin urmare, dispozitivul de redare, numit și doză de redare, este construit după același principiu ca și dispozitivul de gravare de la înregistrare. Un ac cu vîrf foarte subțire de diamant sau de safir se așează la capătul unei tije fixate pe un electromagnet aflat între polii unui magnet permanent. Vibrațiile acului, produse de undulațiile șanțului, se transmit electromagnetului; deplasările sale în cîmpul magnetului permanent generează un curent care este amplificat și trimis în difuzor pentru a reproduce sunetele înregistrate.



Doză piezoelectrică în care cristalul C primește vibrațiile acului A prin substanța elastică E.

Doza este fixată la extremitatea unui braț care se poate roti cu ușurință în jurul unui ax. În timpul redării, antrenat fiind de parcurgerea șanțurilor, acul se deplasează de-a lungul razei discului.

Apăsarea pe care o exercită doza pe disc trebuie să fie foarte mică pentru a evita uzarea discului. Pentru ca presiunea să fie de două pînă la cinci grame, brațul este susținut de un resort sau echilibrat de o greutate așezată la extremitatea opusă dozei.

Trebuie să știi, Ignotus, că în locul dozelor electromagnetice se folosesc adesea dispozitive piezoelectrice. Ele se bazează pe fenomenul de piezoelectricitate descoperit de Pierre Curie. Anumite cristale, cum sînt cele de cuarț sau de titanat de plumb, vibrează dacă li se aplică tensiuni electrice variabile. Și invers, dacă cristalele sînt supuse unei vibrații, pe fațetele lor apar tensiunile electrice corespunzătoare.

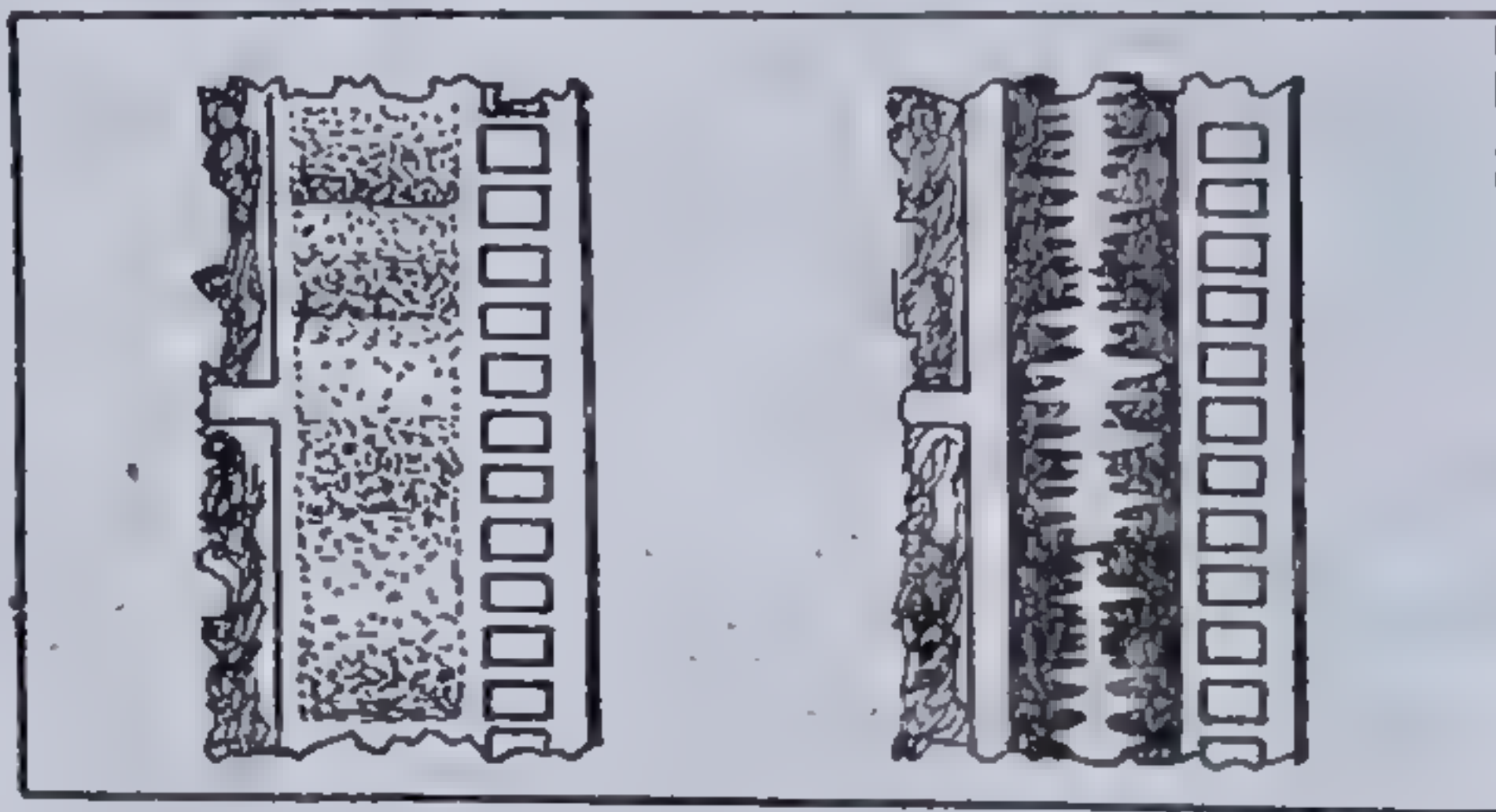
Deci, într-o doză care se bazează pe acest principiu, vibrațiile acului sînt transmise la un cristal piezoelectric prin intermediul unei substanțe elastice. Semnalul generat de cristal reproduce cu fidelitate vibrațiile.

FILMELE SONORE

Așa cum ți-am mai spus, sunetul poate fi înregistrat și redat printr-un procedeu optic. În practică acest procedeu se utilizează numai pentru filmele de cinematograf. Grație lui, a apărut în 1930 filmul sonor.

La marginea filmului, o pistă îngustă conține zone de umbră, a căror frecvență și intensitate corespund frecvenței și intensității sunetelor înregistrate. Există două metode de înregistrare optică. Una utilizează o lățime constantă a pistei; variațiile sunetului se traduc în variații de opacitate. În cea de a doua, transparența este constantă și variază lățimea pistei.

Înregistrarea se face, fie proiectînd o rază de lumină printr-o diafragmă, a cărei suprafață variază sub acțiunea unei tensiuni electrice, fie alimentînd cu această tensiune o sursă de lumină a cărei intensitate va fi, în acest fel, modulată.



Piste sonore pe filmul de cinematograf. În stînga: pistă cu opacitate variabilă. În dreapta — pistă cu lățime variabilă.

Reproducerea sunetelor înregistrate pe film este asigurată cu ajutorul unei celule fotoelectrice care primește lumina proiectată prin pistă. Variațiile luminii determină variații corespunzătoare de curent sau de tensiune în fotocelulă. După amplificare aceste variații sînt trimise la difuzor.

MAGNETOFOANELE

Am ajuns la cel de al treilea sistem de transmitere în timp a sunetului. Acesta este sistemul pe care îl folosesc eu în această clipă și cu ajutorul căruia mă auzi. Magnetofonul mi-a permis

să ascult toate discuțiile tale cu iubitul meu nepot și să-ți dau, la rîndul meu, destule explicații.

Există diverse tipuri de magnetofone, dar toate se bazează pe același principiu. Înregistrarea se face pe un material magnetic. La început se folosea în acest scop un fir de oțel. Primul magnetofon cu fir de oțel a fost realizat în 1898 de cercetătorul danez Waldemar Poulsen și i-a adus autorului său marele premiu la Expoziția Universală de la Paris, în anul 1900. Astăzi se folosesc benzi din material plastic acoperite cu un strat foarte fin de praf de fier.

Înregistrarea și redarea se fac cu ajutorul unui electromagnet ai cărui poli sînt foarte apropiați unul de altul; întrefierul măsoară doar cîțiva microni.

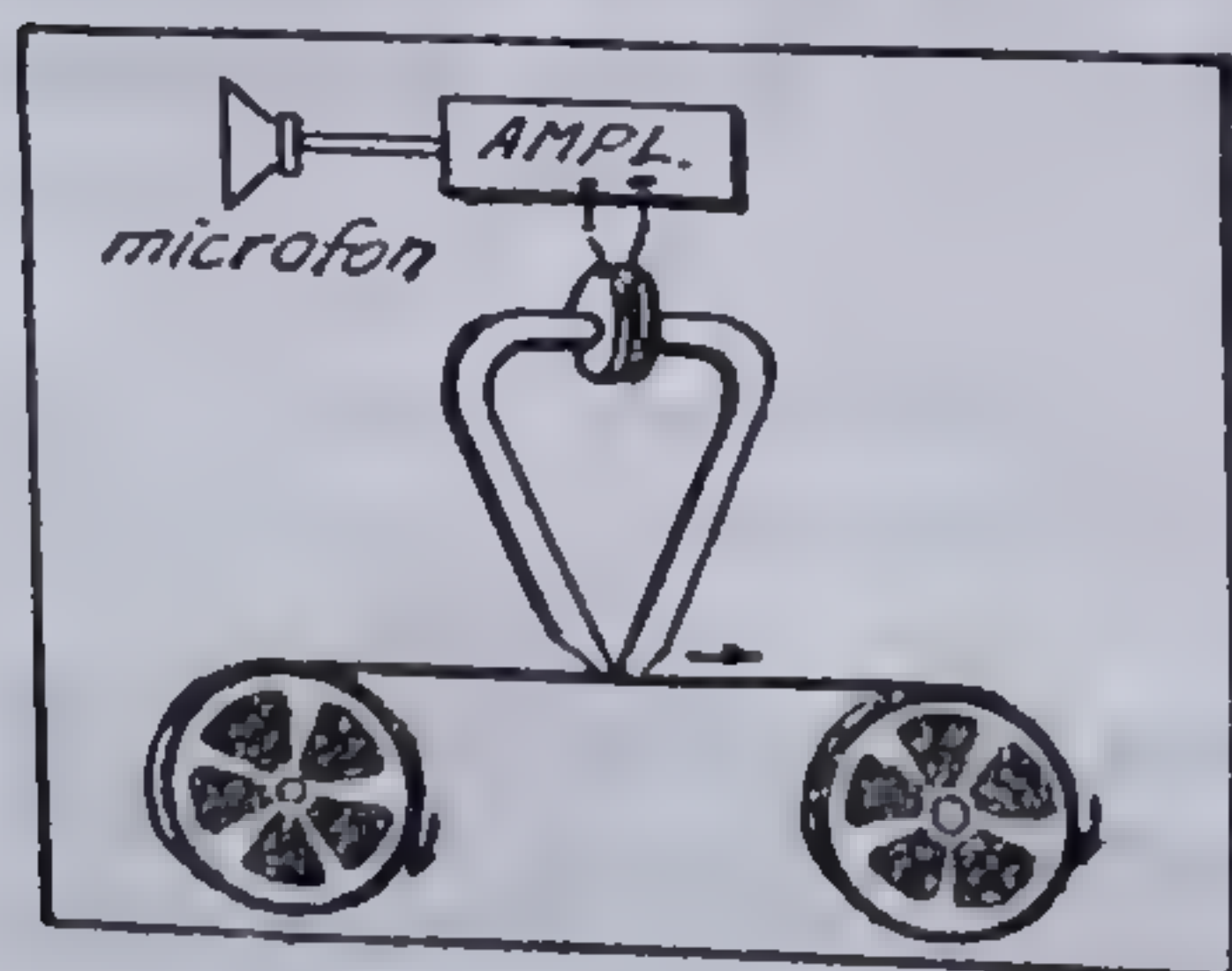
Banda magnetică care se deplasează este presată pe acești poli foarte apropiați. Curentul de microfon, amplificat și apoi trecut prin bobinajul electromagnetului, generează un cîmp magnetic variabil care produce magnetizări corespunzătoare în banda care trece prin fața întrefierului.

La redare, banda este trecută prin fața unui electromagnet similar. Cîmpul magnetic determină apariția unui curent variabil în bobinajul electromagnetului. După amplificare, acest curent este aplicat unui difuzor.

Viteza benzii era pînă nu demult 76 cm pe secundă. Pe măsură ce s-a putut reduce întrefierul, s-a înjumătățit viteza benzii. S-a ajuns astfel la 38, apoi la 19 și la 9,5 centimetri pe secundă. Chiar și la această din urmă viteză sînt redade perfect chiar și sunetele cele mai ascuțite. Se construiesc azi și magnetofone cu viteza benzii de 4,75 cm. pe secundă în care acutele sînt însă puțin atenuate.

Pista magnetică este foarte îngustă, astfel că, pe aceeași bandă, se pot înregistra două și chiar patru piste paralele. Lățimea benzii este de 6,33 mm.

Un magnetofon poate fi prevăzut cu trei capete: unul pentru înregistrare, unul pentru redare și al treilea pentru ștergere. Ștergerea se face cu ajutorul unei tensiuni ultrasonore



Înregistrarea sunetului pe magnetofon

de 25 kHz. Aceași tensiune este de altfel amestecată cu semnalul de înregistrat pentru a „premagnetiza” granulele de fier. Prin acest procedeu se asigură o înregistrare mai bună.

În multe magnetofone există numai un singur cap care se folosește, prin comutare, atât pentru înregistrare cât și pentru citire sau pentru ștergere.

MAGNETOSCOAPELE ȘI VIDEODISCURI

Să trecem acum de la sunet la imagine. Cum se poate transmite imaginea de-a lungul timpului?

Și aici putem recurge la procedee mecanice, optice și magnetice.

Procedeele optice îți sînt cunoscute: este vorba de fotografie și de cinematograf. Aceste procedee nu se bazează pe electronică.

În schimb, electronica are un cuvînt hotărîtor în înregistrarea și reproducerea magnetică a imaginilor. Aparatul folosit se numește *magnetoscop*. Numele lui este construit analog cu cel al magnetofonului, iar principiul său este similar cu cel al înregistrării magnetice a sunetului.

În cazul magnetoscopului, pe banda magnetică se înregistrează semnalul video. Trebuie să distingem două situații: cea a înregistrării directe și cea a înregistrării emisiunilor după televizor.

În primul caz, se utilizează o cameră de televiziune urmată de amplificatoare pentru semnalul video. În cel de al doilea caz, semnalul video obținut în televizor după detecție se aplică la capul de înregistrare al magnetoscopului.

Bine înțeles, că banda de trecere este mult mai lată decît la înregistrarea sunetului. Cum se realizează variații de magnetizare de cîțiva megahertzi într-o bandă magnetică care se deplasează cu o viteză de cîteva zeci de centimetri pe secundă?

Simultan cu mișcarea benzii se deplasează și capetele de înregistrare într-un sens perpendicular pe direcția de mișcare a benzii. Se folosesc în acest scop trei sau patru capete de înregistrare care, rotindu-se în jurul unui ax orizontal, străbat oblic lățimea benzii. Viteza de rotație a capetelor este stabilită în așa fel, încît fiecare traseu oblic să corespundă explorării unei linii pe imagine. Deci, pentru definiția de 625 de linii, capul de înregistrare parcurge oblic banda magnetică în 64 de microsecunde.

Există și magnetoscoape mai simple cu un singur cap de înregistrare.

Redarea imaginilor se face cu ajutorul aceluiași cap ca și înregistrarea. După amplificare, semnalul de televiziune este aplicat pe cinescopul televizorului.

Televizorul este folosit atât la înregistrare cât și la redarea emisiunilor cu ajutorul magnetoscopului. Magnetoscopul primește de la televizor semnalul pe care acesta îl recepționează, îl amplifică și îl detectează. La redare semnalele extrase din magnetoscop sînt trimise în televizor pentru a fi transformate în imagini.

Acest mod de utilizare a magnetoscopului creează posibilități nebănuite. Să presupunem că ești plecat de acasă în timp ce se transmite o emisiune care te interesează mult. Ea poate fi înregistrată automat cu ajutorul unui ceas care pornește și oprește televizorul și magnetoscopul la ore pe care le-ai stabilit în prealabil. Emisiunea, înregistrată în lipsa ta, poate fi apoi redată pe ecranul televizorului, atunci cînd vei avea timp pentru a o urmări în liniște.

Se pot utiliza oare și procedeele mecanice pentru înregistrarea semnalului de televiziune? La prima vedere acest lucru pare imposibil. Și totuși miracolul a fost realizat. În anul 1970, cercetătorii firmei germane AEG-Telefunken au reușit să construiască un disc video. Mai mult decît atât: un an mai tîrziu ei au prezentat un disc pe care erau înregistrate imagini în culori.

Aceste discuri se rotesc cu remarcabila viteză de 1500 de ture pe minut și conțin 140 de șanțuri pe fiecare milimetru de rază (pe discurile pentru sunet, numărul de șanțuri este de 12 ori mai mic). Durata unui astfel de disc este de 5 minute *). În acest timp acul parcurge 15 kilometri de șanț gravat în adîncime.

Ce realizări uimitoare ne mai așteaptă? Viitorul ne va oferi cu siguranță din ce în ce mai multe surprize.

*) (N.T.) În anul 1972 firma AEG Telefunken a produs și discuri video cu diametrul de 30 cm și o durată de 12 minute. În același an firma olandeză Philips a anunțat începerea fabricației unui disc video cu durată de 45 de minute. La înregistrarea și redarea lui se folosesc dispozitive cu laser.

Convorbirea a 20-a (ultima)

Aplicațiile electronicii

Electronica a devenit astăzi o tehnică universală. Ea își găsește aplicații utile în toate domeniile activității omenești. Fără a intra în detalii, Curiosus trece în revistă în această ultimă convorbire, diverse aplicații ale electronicii, prin care se asigură siguranța navigației maritime și aeriene.

MĂSURAREA ELECTRONICĂ A TEMPERATURII

IGNOTUS : Mă tot gândesc la tot ce mi-ai explicat, tu și unchiul tău, care știe atât de multe. Am aflat că sunetul și lumina pot fi transformate în semnale electrice și că transformarea inversă este de asemenea posibilă.

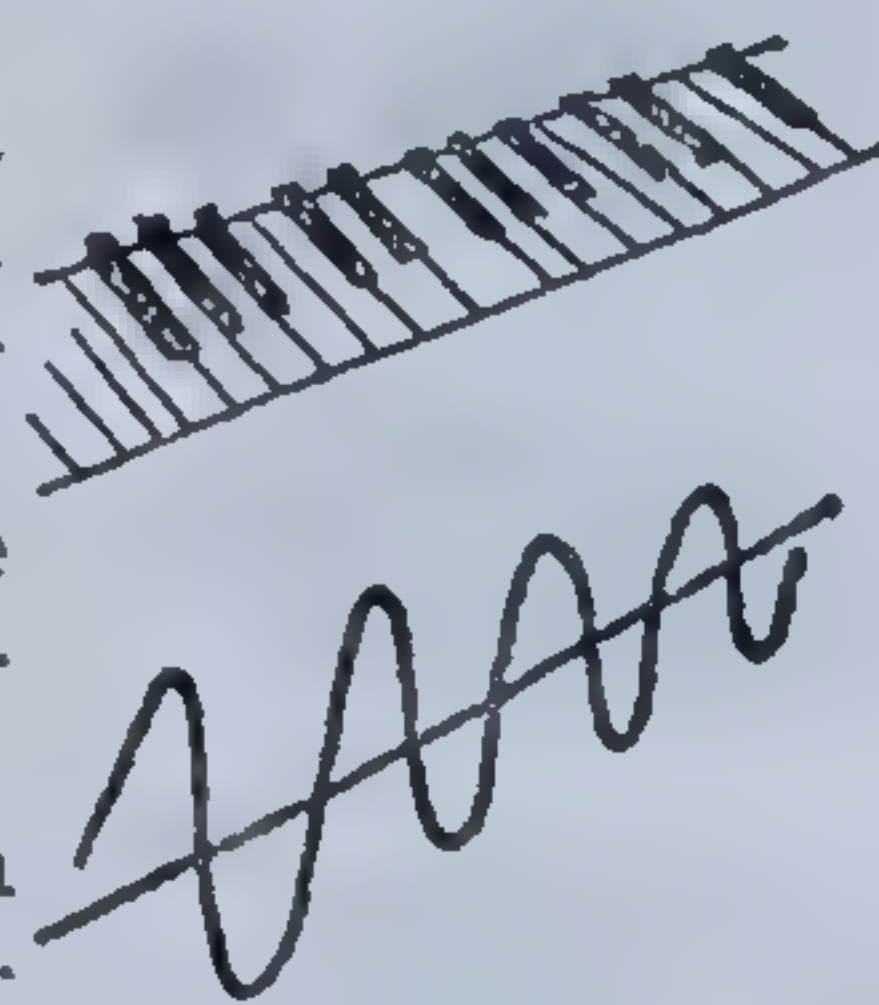
Spune-mi, nu s-au făcut încercări de a transforma în energie electrică și alte forme de energie ?

CURIOSUS : Evident că s-au făcut. Reușita a fost deplină în toate domeniile. Electronica și-a găsit în acest fel aplicații în cele mai variate domenii ale științei, tehnicii și altor activități ale omului.

IGNOTUS : Poți să-mi spui cum pot fi traduse în semnale electrice, forme de energie, cum ar fi căldura sau energia acțiunilor mecanice ?

CURIOSUS : În ceea ce privește căldura, ai uitat cumva influența pe care o exercită aceasta asupra semiconductoarelor ? Există o categorie de dispozitive semiconductoare numite *termistoare* a căror rezistență electrică scade atunci când crește temperatura. Ele permit deci să se măsoare temperaturile.

IGNOTUS : Cred că în acest scop se folosește un fel de ohmmetru. Aplicând pe termistor o tensiune fixă, măsurăm cu ajutorul unui ampermetru curentul care îl străbate.





CURIOSUS : Așa este. Cadranul ampermetrului este însă gradat direct în temperaturi.

ELECTRONICA MEDICALĂ

IGNOTUS : Se poate măsura și temperatura corpului omenesc ?

CURIOSUS : Evident. Dar termometrul obișnuit e mult mai practic în acest caz.

În schimb, metodele electronice sînt utilizate cu succes în diverse domenii ale medicinei, atît pentru diagnostic, cît și în terapeutică.

Anumite boli sînt tratate prin încălzirea interioară a corpului omenesc cu ajutorul unor cîmpuri de înaltă frecvență. De o parte și de alta a zonei asupra căreia se efectuează tratamentul, se plasează electrozi pe care se aplică tensiuni de frecvență înaltă. Porțiunea din corp aflată între electrozi se va încălzi, iar starea bolnavului se va ameliora.

IGNOTUS : Am o idee. În felul ăsta s-ar putea frige un mușchi de vacă.

CURIOSUS : Ideea ta nu e deloc practică. Dacă s-ar încălzi carnea în interior, toată zeama ar ieși afară și friptura ar fi complet uscată.

În mod obișnuit carnea se frige la o sursă exterioară de căldură care face ca, de la început, suprafața cărnii să devină impenetrabilă, astfel încît toată zeama să rămînă în interior.

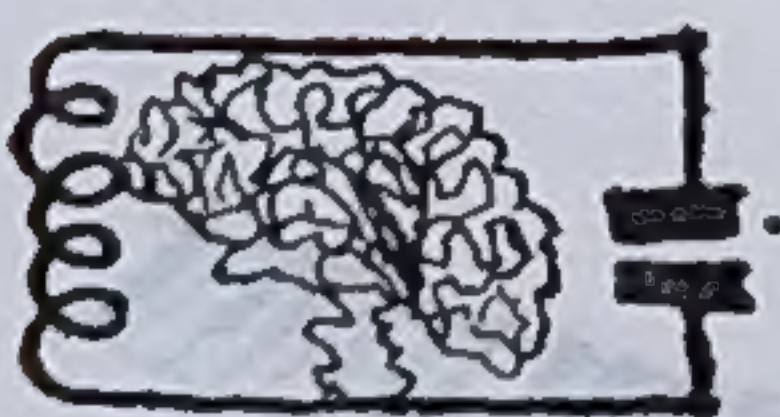
IGNOTUS : N-am nimerit. Dar să revenim la organismul omenesc. Parcă și el produce cîmpuri electrice ?

CURIOSUS : Într-adevăr, creierul și inima omului generează tensiuni electrice slabe care pot fi puse în evidență, după ce sînt amplificate cu ajutorul unor tuburi sau al unor tranzistoare. În acest fel se pune diagnosticul în diverse boli.

RADIOLOCATORUL

IGNOTUS : Dezvoltarea electronicii contribuie deci la în sănătoșirea oamenilor. Acest fapt este chiar mai important decît distracția pe care o oferă radioul sau televiziunea.

CURIOSUS : Realizările electronicii nu se răsfrîng numai asupra sănătății. Electronica are o contribuție importantă la mărirea siguranței unor mijloace de deplasare utilizate de om.



Datorită radiolocatorului, navele maritime și avioanele pot evita ciocnirile. Radiolocatorul permite să se determine poziția exactă a avioanelor. În acest fel turnurile de control ale aeroporturilor vor putea să stabilească traseele de zbor cele mai raționale.

IGNOTUS : Am auzit vorbindu-se de radiolocator, dar nu știu cum funcționează această instalație.

CURIOSUS : Un dispozitiv special emite un fascicul îngust de unde foarte scurte, metrice, decimetrice sau chiar centimetrice.

Fasciculul de unde este reflectat de obiectele a cărei poziție vrem s-o determinăm și este captat apoi în punctul din care a fost emis.

IGNOTUS : Probabil că fasciculul nu stă pe loc. Pentru ca să poată întâlni nava sau avionul căruia vrem să-i aflăm poziția, fasciculul trebuie să exploreze spațiul.

CURIOSUS : Într-adevăr, așa funcționează radiolocatorul. Undele emise sînt reflectate pe un paraboloid de metal care le concentrează. Devierea fasciculului se realizează prin mișcarea paraboloidului.

Atunci cînd radiolocatorul funcționează pe o navă, fasciculul este deviat în dreapta și în stînga vasului, explorînd suprafața mării. Dacă sînt reflectate de altă navă, undele permit, la întoarcere, să se determine poziția vasului respectiv pentru a evita ciocnirea.

IGNOTUS : Presupun că explorarea e mai complicată atunci cînd trebuie aflată poziția avioanelor.

CURIOSUS : Ai dreptate. În acest caz fasciculul parcurge o spirală care acoperă toate punctele accesibile de pe cer. Prin măsurarea intervalului de timp dintre emisie și recepție, se stabilește distanța la care se află aparatul.

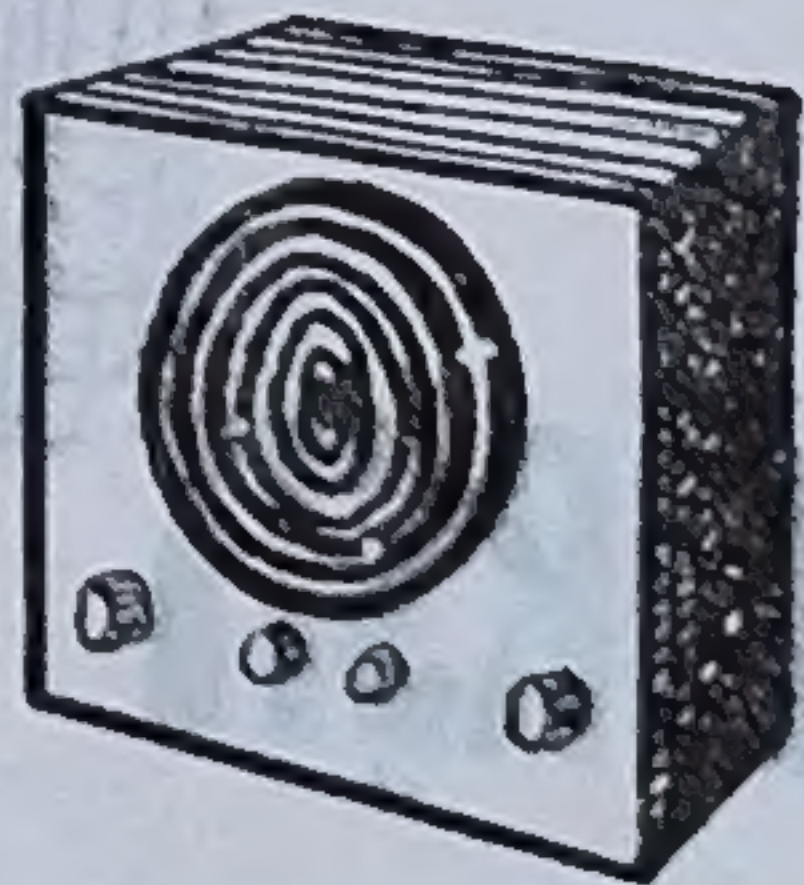
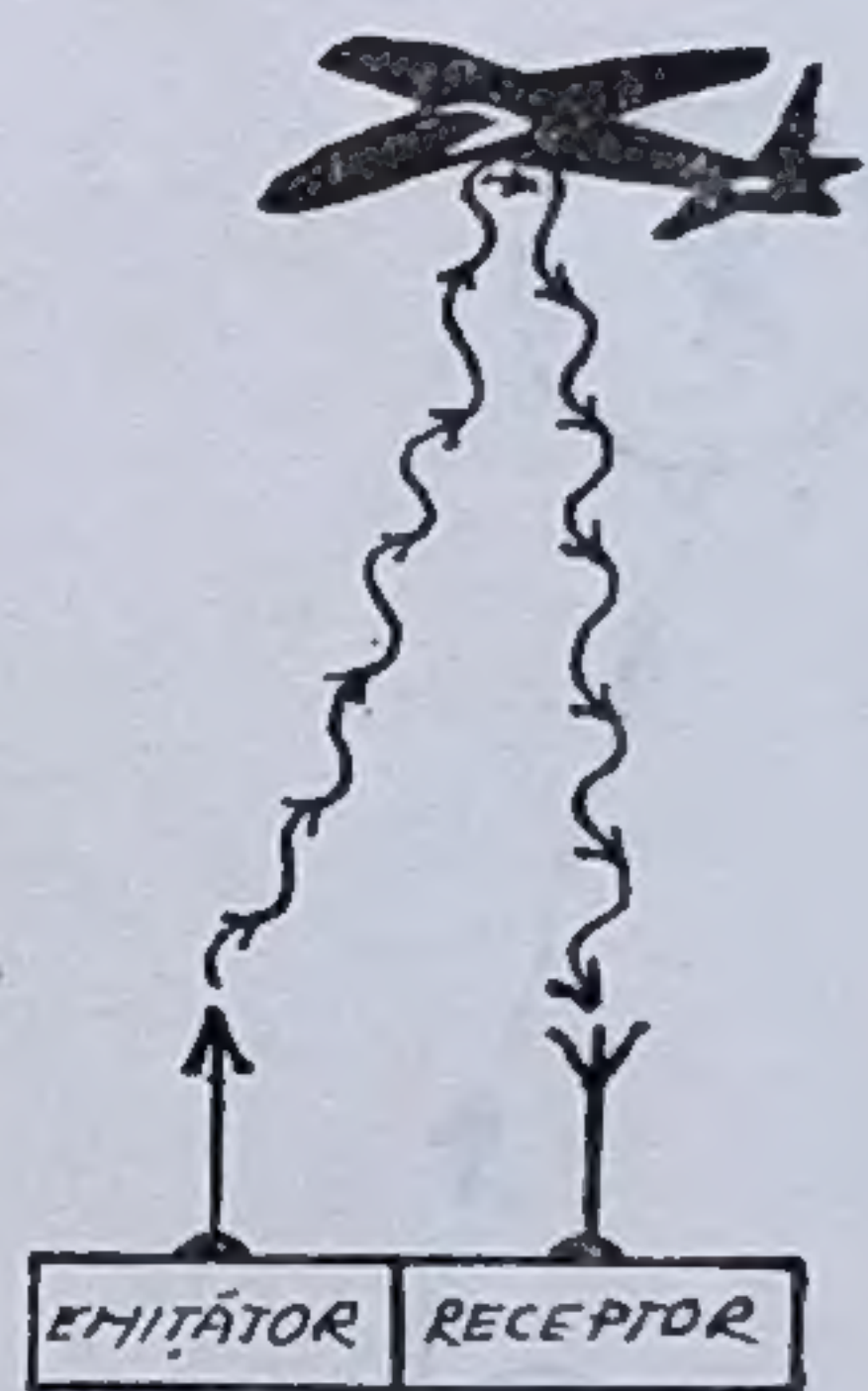
IGNOTUS : Formidabil ! Cred că în felul acesta poate fi urmărită și traiectoria navelor cosmice.

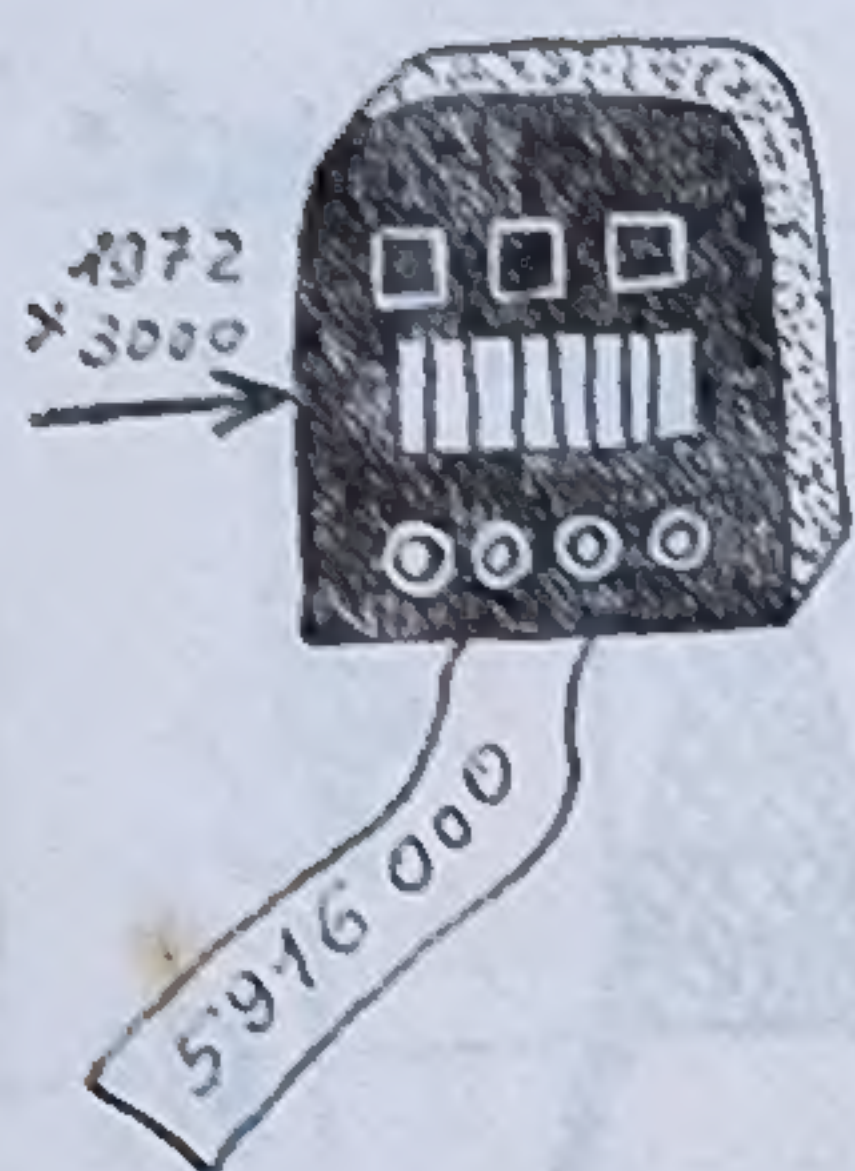
CURIOSUS : Bineînțeles. Iar indicațiile radiolocatorului pot fi înregistrate și pot comanda automat schimbarea direcției navelor și avioanelor.

INFORMATICA, AUTOMATICA, TELECOMANDA

IGNOTUS : Observ că datorită electronicii aparatele înlocuiesc munca omului.

CURIOSUS : Ai dreptate. În toate domeniile, electronica asigură o automatizare perfectă. Cu ajutorul ei, toate activitățile noastre devin mai ușoare, mai precise și mai rapide.





Industria beneficiază din plin de aceste avantaje, deoarece procesele de fabricație pot fi executate prin comandă electronică, care se substituie activității creierului și mușchilor omului.

IGNOTUS : Nu cumva exagerezi posibilitățile acestei tehnici, atunci când spui că ea se poate substitui creierului ? Faptul că motoarele înlocuiesc mușchii, nu mi se pare surprinzător și este cunoscut încă de pe vremea mașinii cu aburi, dar creierul...

CURIOSUS : Un domeniu al electronicii care poartă numele de *informatică* ajută creierul în multe activități, chiar dacă nu poate îndeplini toate funcțiile sale.

Electronica poate de asemenea să ajute memoria. Pe benzi magnetice sau pe alți suportați sensibili la cîmpurile electrice, magnetice sau luminoase se poate înregistra o cantitate uriașă de informații, care poate fi regăsită sau utilizată în operațiile logice efectuate de calculatoarele electronice. Primul calculator a fost realizat în 1944 și ocupa cîteva camere la Universitatea din Philadelphia ; astăzi există calculatoare care încap pe o masă de lucru.

IGNOTUS : Observ că electronica care permite să se transmită în spațiu și timp sunete și imagini folosind radioul, televizorul, magnetofonul sau magnetoscopul, oferă și posibilitatea de a conserva și de a folosi pentru raționamente similare cu cele care se desfășoară în creier, ceea ce în mod normal se păstrează în memoria omului.

Mai mult decît atît, electronica permite să se comande de la distanță, navele cosmice și vehiculele aflate pe suprafața lunii sau pe altă planetă. Eu consider această telecomandă prin unde electromagnetice care străbat spațiul, o realizare demnă de toată admirația.

CURIOSUS : Într-adevăr, Ignotus, dacă omul a reușit să cucerească spațiul, acest lucru se datorează, în mare măsură, electronicii. Ea contribuie la ușurarea cercetării științifice în toate domeniile.

Grație electronicii reușim să explorăm zone din univers aflate la milioane de ani lumină de noi și tot datorită ei, pătrundem prin intermediul microscopului electronic în inima materiei.

După cum vezi, această tehnică este cu adevărat universală. Convorbirile noastre și expunerile unchiului meu Radiol ți-au permis să cunoști bazele electronicii. Acum poți să studiezi singur, amănunțit, domeniile din electronică care te interesează mai mult.

Îți doresc succes.

SFÎRȘIT





Lei 14